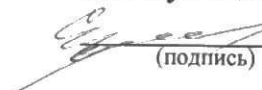


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«14» января 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка
и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование,
монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка
качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-
фильтров»
(тема)

Пояснительная записка

Руководитель


(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков
(инициалы, фамилия)

Выпускник

Д.А. Болдырев
(подпись, дата)

Д.А. Болдырев
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров содержит 104 страницы, 59 рисунков, 19 таблиц, 7 источников, 7 листов формата A1 графического материала.

Объектом дипломной работы является лабораторная установка для оценки качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров

Цель работы: разработка стенда и методического обеспечения по оценке качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров

В процессе работы проведены: Проанализировано влияние схемы и различных нагрузок на качество выпрямленного напряжения. Разработана конструкция стенда, произведен монтаж, наладка и апробация работы стенда; разработано методическое обеспечение по выполнению лабораторной работы; выполнены условия безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда; разработан сетевой график создания стенда для своевременного завершения работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

Оглавление

Введение	4
1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»	6
1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»	6
1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	11
1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории	24
1.4 Вывод по разделу 1	26
2. Теоретическое изучение влияния качества выпрямленного напряжения на работоспособность МПУ	27
2.1 - Электромагнитные помехи и требования к источнику постоянного тока. 27	
2.1.1 Электромагнитные помехи.....	27
2.1.2 Критерии источника постоянного тока, отвечающие требованиям ЭМС. 29	
2.2 Общая характеристика источников постоянного тока.	33
2.3 Влияние аварийных режимов на качество электроэнергии	34
2.3.1. Пульсация и спектральный состав выпрямителя напряжения в безаварийном режиме.	34
2.3.1.1. Двухполупериодное выпрямление	35
2.3.1.2.Трехполупериодное выпрямление	36
2.3.1.3 Шестиполупериодная схема выпрямления (схема Ларионова)	37
2.3.2 Пульсации и спектральный состав выпрямителя напряжения в аварийном режиме.....	38
2.3.2.1 Аварийный режим в двухполупериодном выпрямителе	38
2.3.2.2 Аварийный режим в трехполупериодном выпрямителе	40
2.3.2.3 Аварийный режим в шестиполупериодном выпрямителе	41
2.4 Моделирование стенда в среде multisim	43
2.4.1 Двухполупериодный выпрямитель	43

2.4.1.1 Спектральный состав напряжения двухполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	43
2.4.1.2 Спектральный состав двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	45
2.4.2 Трехполупериодный выпрямитель.....	47
2.4.2.1 Спектральный состав напряжения трехполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	47
2.4.2.2 Спектральный состав трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	50
2.4.3 Шестиполупериодный выпрямитель.....	52
2.4.3.1 Спектральный состав напряжения шестиполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	52
2.4.2.2 Спектральный состав двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim.....	54
2.4 Вывод по разделу 2.....	57
3. Разработка, монтаж, наладка и апробация работы стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока.».....	58
3.1 Теоретическое исследование и компьютерное моделирование стенда.....	58
3.2. Апробация работы стенда.....	60
3.3 Выводы по разделу 3.....	66
4. Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров»	67
4.1 Методические указания к лабораторным работам: «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров»	67
4.1.1 Введение	70
4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории.....	70
4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов	71
4.1.4 Общие положения	72
4.1.5 Термины и определения	77

4.1.6 Теоретические основы качества электропитания ИПТ	80
4.1.7 Лабораторная работа №1	90
Вопросы для самопроверки	93
4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами	94
5. Безопасность жизнедеятельности	95
5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	95
5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда	95
5.3 Мероприятия по производственной санитарии	97
5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности	98
6. Разработка сетевого графика	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
Список сокращений	103
Библиографический список	104

Введение

Широкое использование микропроцессорной техники и устройств на подстанциях(ПС) напряжением 110кв и выше требует решения вопроса электромагнитной совместимости с оборудованием ПС и режимами ее работы. К режимам работы относятся: нормальный режим эксплуатации и аварийные режимы. К аварийным режимам работы относятся: режимы короткого замыкания(КЗ) и эксплуатация ПС в период грозовой активности. Известно[1], что импульсные магнитные поля, возникающие в режиме короткого замыкания или при разряде молнии в молниеприемник на ПС, негативно влияют на работоспособность микропроцессорных устройств (МПУ). Негативное влияние на работоспособность МПУ оказывают электромагнитные помехи, распространяющиеся в воздушном пространстве или по контрольным кабелям и качество выпрямленного напряжения источников постоянного тока.

Основными параметрами источника постоянного тока является размах (пульсация) и отклонение выпрямленного напряжения согласно требованиям, СТО 56947007-29.240.044-2010 пульсация напряжения постоянного тока не должна превышать 10%, а согласно ГОСТ 32144-2013 (п.4.2.2) отклонение напряжения не должно превышать $\pm 10\%$.

Источник постоянного тока представляет из себя выпрямитель и сглаживающий фильтр. Следовательно, помимо постоянной составляющей присутствует и переменная составляющая, что приводит к возникновению определенного спектра высших гармоник в выпрямленном напряжении. Высшие гармоники могут оказать негативное влияние на работоспособность МПУ. Установлено что чем выше пульсация, тем шире спектр гармоник и выше значение высших гармоник. Следовательно, качество выпрямленного напряжения влияет на работоспособность МПУ.

Приобретение студентами навыков и опыта в оценке качества выпрямленного напряжения источника постоянного тока является актуальной задачей

Вследствие этого, целью настоящей дипломной работы является разработка стенда и методического обеспечения, по оценке качества выпрямленного напряжения источника постоянного тока. Для решения поставленной цели необходимо рассмотреть следующие задачи:

1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

2. Источники электромагнитных помех и требования к источнику постоянного тока.

3. Теоретическое изучение влияния качества выпрямленного напряжения на работоспособность МПУ и разработка схемы стенда, по оценке качества электропитания источника постоянного тока.

4. Разработка конструкции стенда, монтажа, наладки и апробация работы стенда.

5. Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы, связанной с оценкой влияния качества источника постоянного тока на работу МПУ.

6. Обеспечение безопасности жизнедеятельности при выполнении монтажных и наладочных работ на стенде.

7. Разработка сетевого графика, позволяющего своевременно выполнить работу по разработке, монтажу и наладки стенда.

1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Учебной программой подготовки специалистов по направлению «Электрификация и автоматизация горных работ» предусмотрена дисциплина «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Изучение данной дисциплины связано с широким внедрением микропроцессорной техники на ПС. Использование МП техники позволяет коренным образом изменить функционирование подстанций. Защиты, выполненные на МПУ становятся универсальными, занимают небольшие пространства, позволяют выполнять резервирование, что приводит к повышению надежности подстанции в целом.

Опыт эксплуатации МПУ на ПС показал, что надежная работа устройств обеспечивается соответствующей электромагнитной обстановкой и электромагнитной совместимостью с режимами работы, и оборудованием подстанций. Основные требования для МПУ приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехозмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5		2000В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
Порт корпуса					
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 степень	100А/м(длительно) 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 степень	3А/м (длительно)	Для мониторов с электроннолучевой трубкой

Продолжение таблицы 1.1

3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 6100-4-3)	Не ниже 3 степени	10В/м	Для всех устройств
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	Не ниже 4 степени	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96)	Не ниже 3 степени жесткости	6кВ контактный 8кВ воздушный	Для всех устройств.
Сигнальные порты					
6	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96)	Локальное Полевое 3 степень (для однократных) 2 степень (для повторяющихся) <u>С оборудованием</u> 4 степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	- 2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод) 1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод) 4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод) Противофазное 2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех устройств
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95)	Локальное Провод-земля 2 степень Провод-провод 1 степень Полевое Провод – земля 3 степень Провод-провод 2 степень <u>С оборудованием</u> Провод земля 4 степень Провод – провод 3 степень	1кВ 0,5кВ 2кВ 1кВ 4кВ 2кВ	Для всех устройств.

Продолжение таблицы 1.1

8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 60255-22-4).	Локальное 3 степень Полевое 4 степень С оборудованием Специальная степень жесткости	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех сигнальных портов.
Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(1с) 60%(0,1с) 100%(0,5с)		Только для входных портов
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 степени	Пульсации не выше 10%	Для всех портов питания постоянного тока
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	Не ниже 3 степени	10В (длительно) 100В (1 с)	Для всех портов питания постоянного тока
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод земля 3 степень Провод-провод 2степень	2кВ 1кВ	Для всех портов питания постоянного тока
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех портов питания постоянного тока
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ (провод-земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех портов питания постоянного тока
Питание переменным током					
17	Провалы напряжения Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(50периодов) 60%(1 период) 100%(5периодов)		Только для входных портов

Продолжение таблицы 1.1

18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4.28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	Для всех портов питания переменного тока
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод)	Для всех портов питания переменного тока
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4степень	4кВ	Для всех портов питания переменного тока
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 степень Провод-провод 3 степень	4кВ 2кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	10В=140дБ

Окончание таблицы 1.1

Помехоэмиссия					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия	ГОСТР 51318.22- 99 (СИСПР 22 - 97) ГОСТР 51318.11-99 (СИСПР 11- 97)			

Анализ таблицы 1.1 указывает на то, что применение МПУ допускается после выполнения обследования электромагнитной обстановки на ПС. Комплексное обследование электромагнитной обстановки на ПС выполняется в следующих направлениях:

1. Диагностика заземляющего устройства (ЗУ).
2. Анализ эффективности систем молниезащиты.
3. Устойчивость МПУ к режимам КЗ и ударам молнии.
4. Измерение, расчеты и анализ влияния электромагнитных полей на функционировании МПУ.
5. Изучение влияния импульсных электромагнитных полей и качества электрической энергии на работоспособность МПУ.
6. Влияние качества источников постоянного тока на состояние МПУ.

Методы измерения параметров ЭМО и методика их анализа приведена в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»; СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»; СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

Данные материалы позволяют разработать лабораторию по дисциплине «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на ПС». Наличие данной лаборатории является актуальным, так как позволяет привить навыки и умения студентам по основным направлениям, связанным с изучением ЭМО и ЭМС на подстанциях. Получение знаний и навыков в данной области в дальнейшем позволят студентам получить комплексные знания по специализации электрификация и автоматизация горных работ, что положительно отразится на их профессиональной деятельности.

1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Лаборатория по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» расположена на 3 этаже учебного корпуса института горного дела геологии и геотехнологий СФУ в аудитории 307. Общая площадь лаборатории составляет 48,9м². Внешний вид помещения до расположения оборудования и стендов лаборатории показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид аудитории 307 до создания лаборатории

Для проведения лабораторных работ по курсу ЭМО и ЭМС были разработаны следующие стенды:

1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»
2. «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»
3. «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»
4. «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения»
5. «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»
6. «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Внешний вид лицевых панелей перечисленных стендов показан на рисунках 1.2 - 1.7.

Внешний вид лаборатории с установленными стендами показан на рисунках 1.8 - 1.9.

Стенд №1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока».

Позволяет оценить основные показатели качества источника постоянного тока, к которым относятся: отклонение напряжения, размах и пульсация выпрямленного напряжения. Данный стенд наглядно показывает, как влияет схема источника постоянного тока на качество электропитания. Кроме того, данный стенд демонстрирует как изменяется качество электропитания источника постоянного тока при использовании LC фильтров и аккумуляторных батарей. С помощью стенда, можно проследить, какие изменения происходят в выпрямленном напряжении в случае выхода из строя силовых диодов. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы.

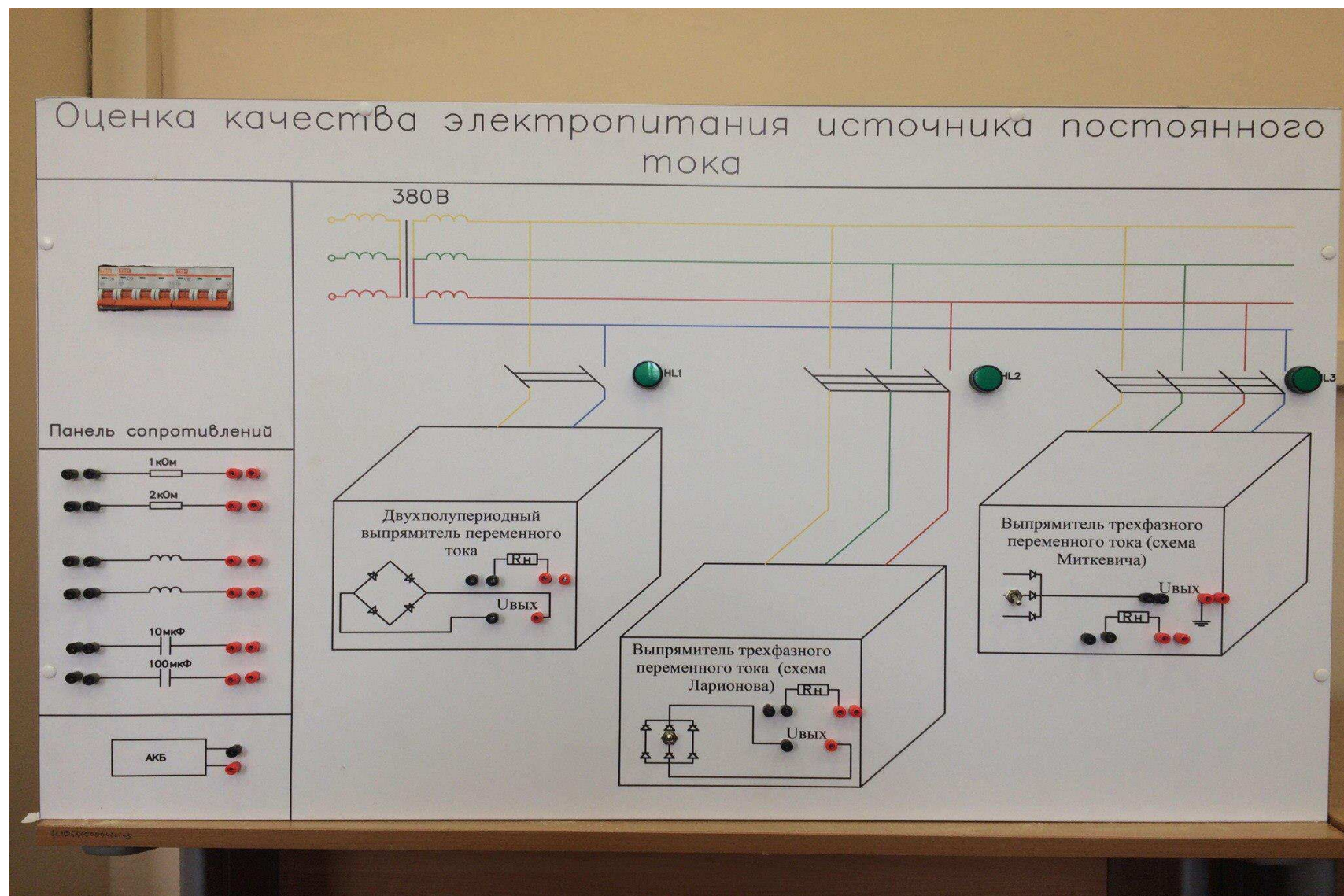


Рисунок 1.2 – Лицевая панель стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»

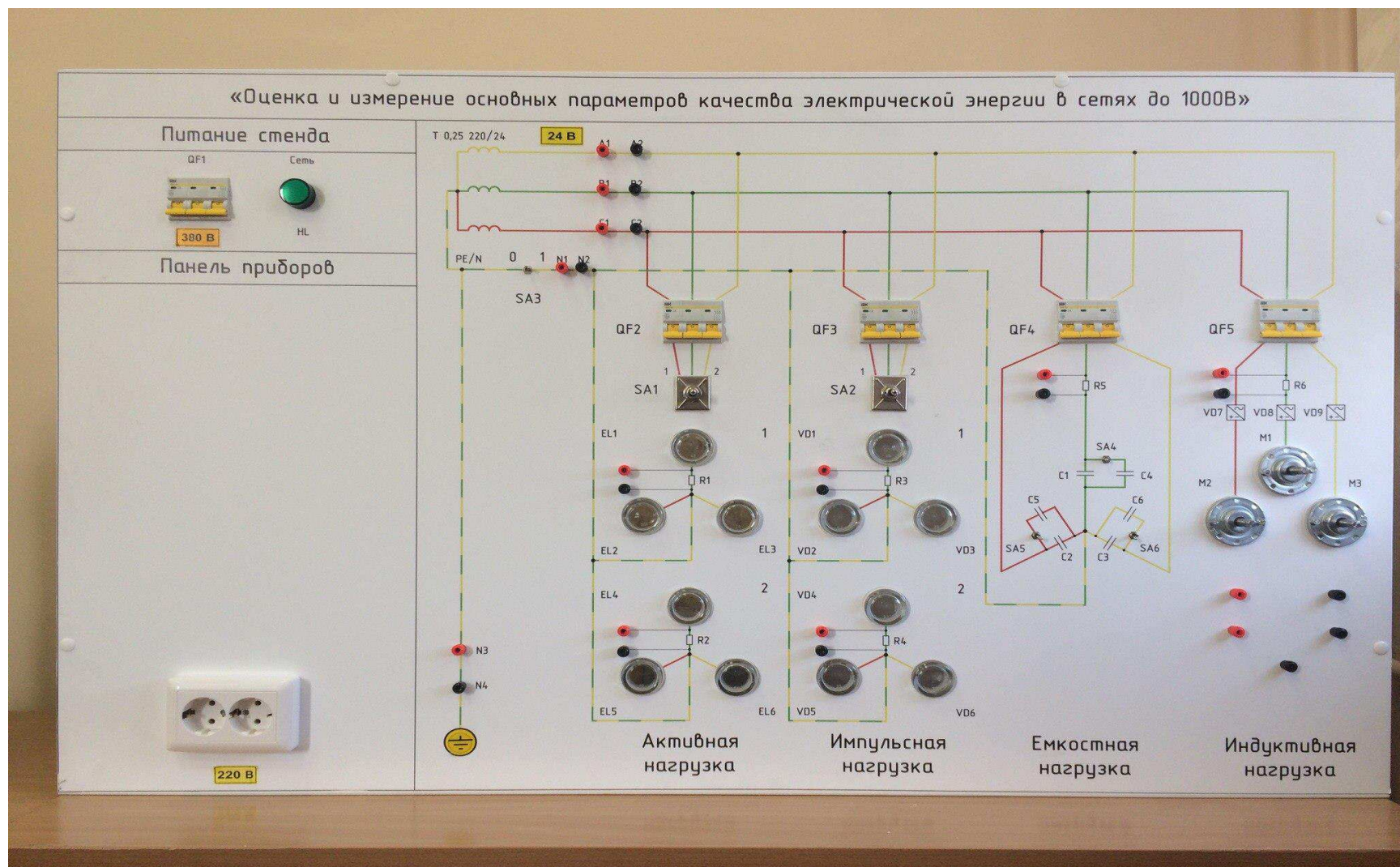


Рисунок 1.3 – Лицевая панель стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»

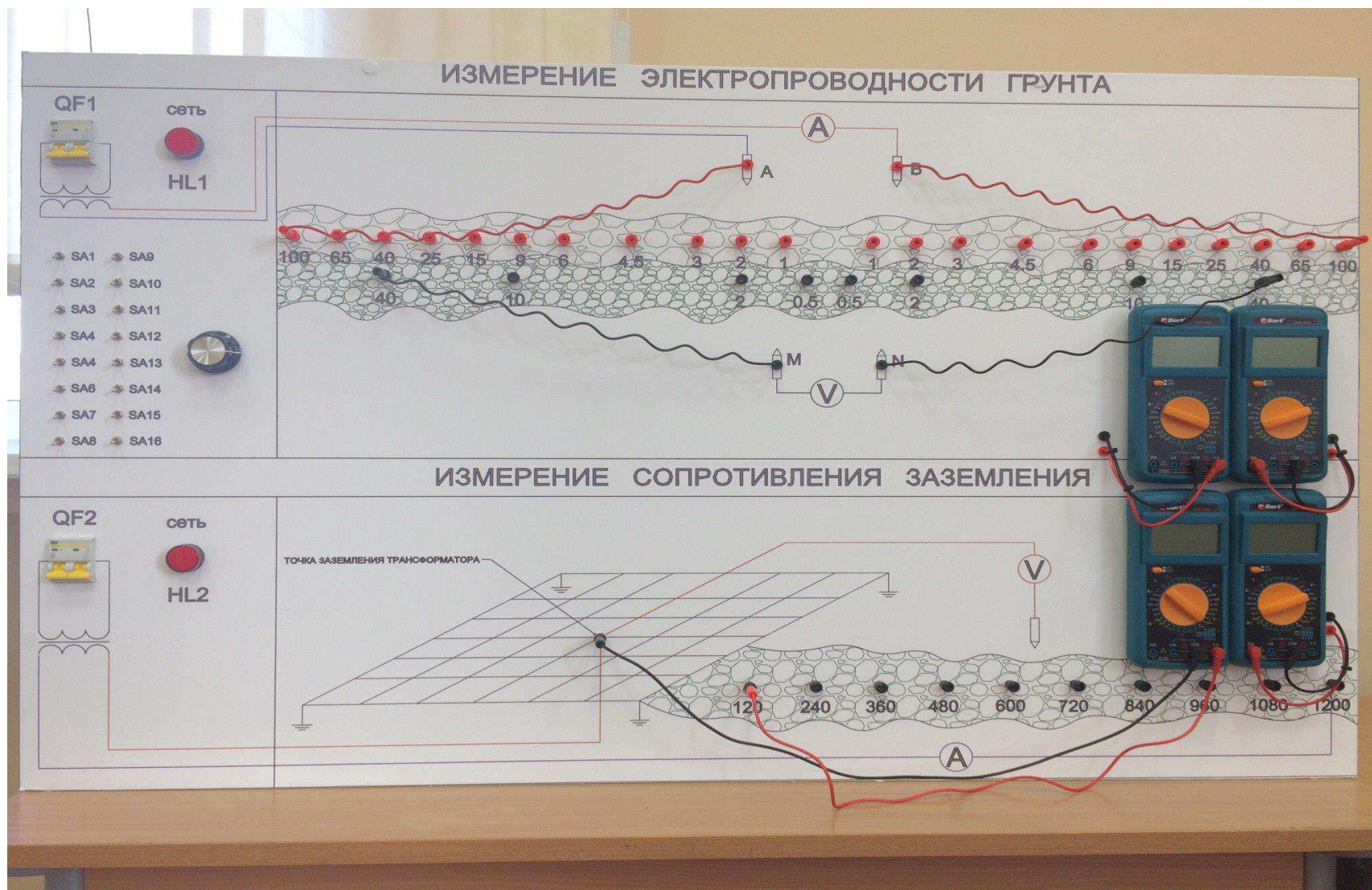


Рисунок 1.4 – Лицевая панель стенда «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»



Рисунок 1.5 – Лицевая панель стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»

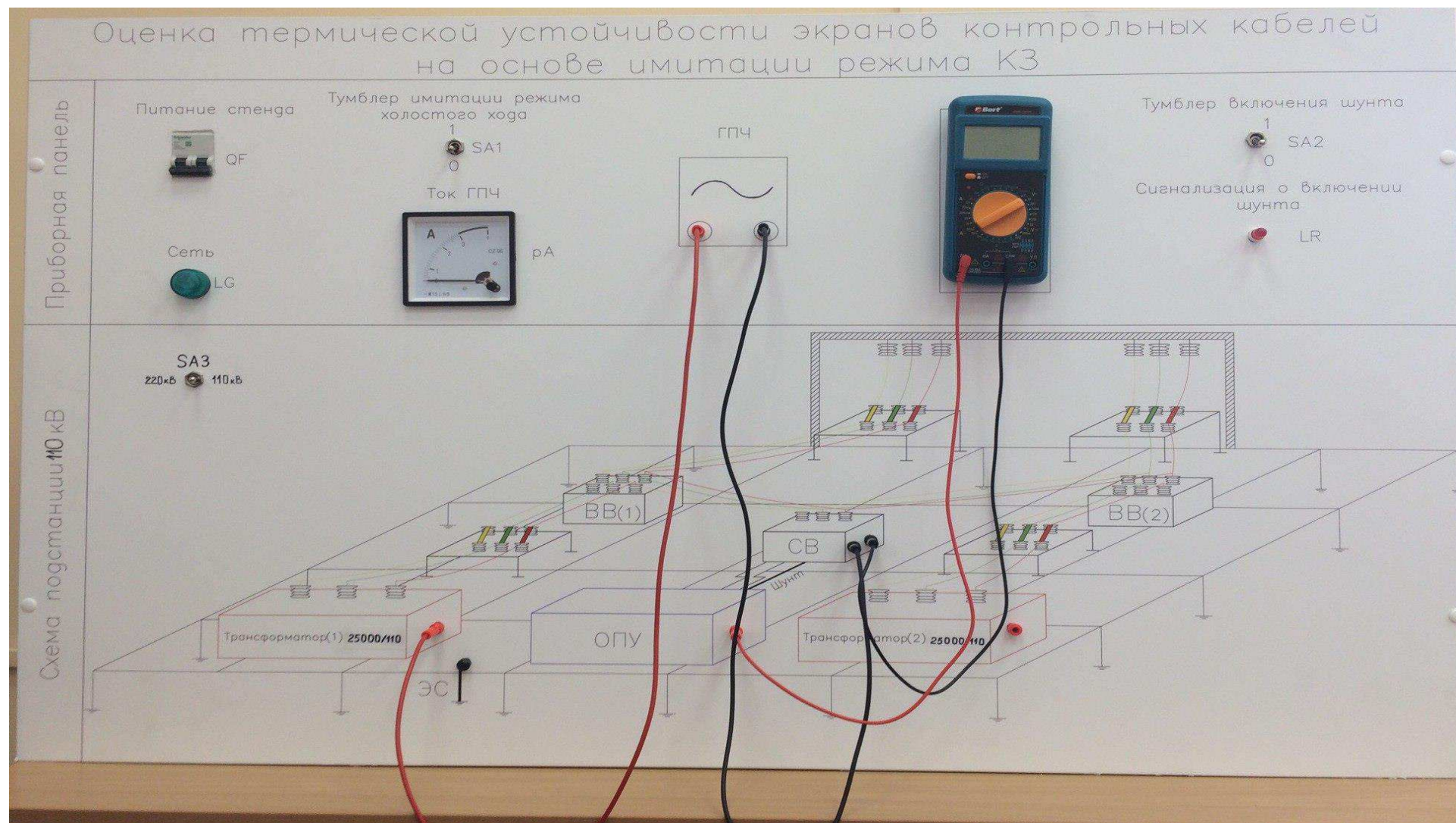


Рисунок 1.6 – Лицевая панель стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

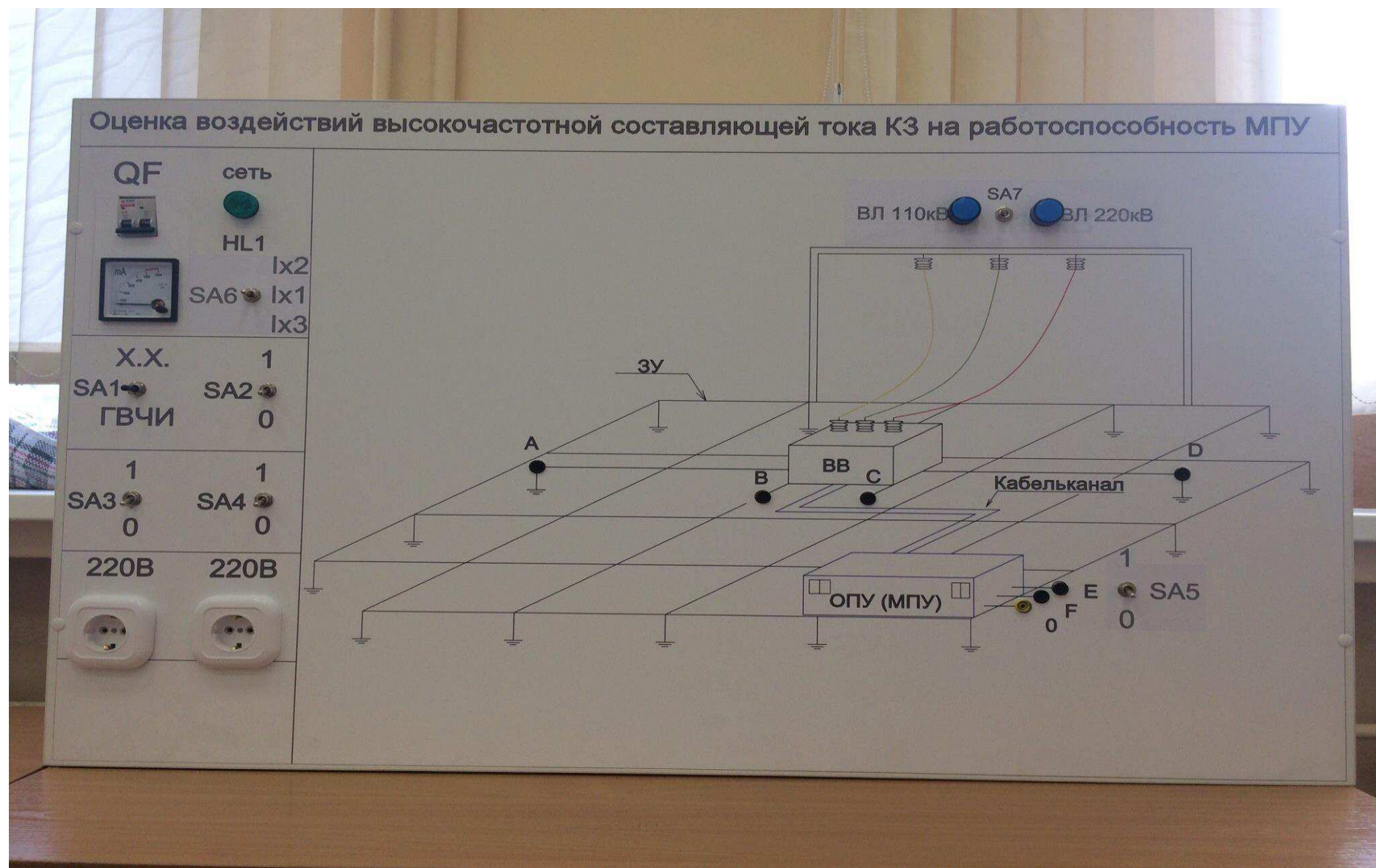


Рисунок 1.7 – Лицевая панель стенда «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»



Рисунок 1.8 – Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

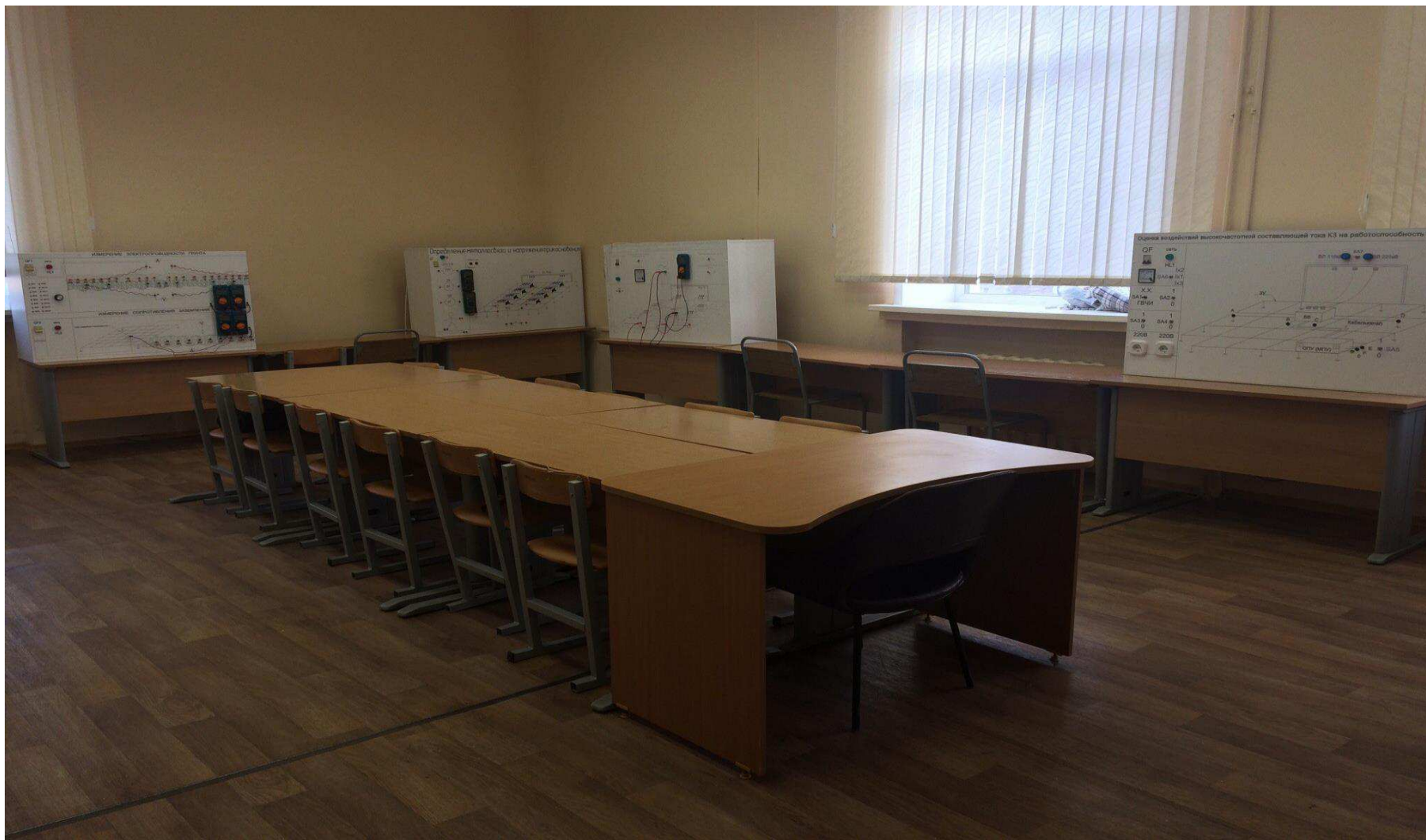


Рисунок 1.9 - Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

Стенд №2 «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В».

Данный стенд позволяет оценить основные параметры качества электрической энергии в сетях переменного тока до 1000В. К таким показателям относятся: отклонение напряжения, отклонение частоты, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения и тока, спектральный состав напряжения и тока, фликер. Стенд позволяет измерять и анализировать показатели качества в сетях изолированной и глухозаземленной режимами нейтралей. С помощью стенда можно имитировать как линейную, так и не линейную нагрузку. В роли линейной нагрузки выступают лампы накаливания и конденсаторы. В качестве нелинейной нагрузки используются электродвигатели и светодиодное освещение. Кроме этого использование светодиодов позволяет установить влияние импульсной нагрузки на показатели качества электрической энергии. Наличие электроприемников, имеющих различные параметры, позволяет в комплексе оценить их влияние на показатели качества электроэнергии, например, параллельная работа электродвигателей с системами освещения выполненными на лампах накаливания или светодиодных лампах, влияние конденсаторных установок на токи электродвигателя и т.д. Таким образом, данный стенд в достаточной мере отражает влияние нагрузки на показатели качества электроэнергии. Методическое обеспечение данного стенда включает 8 вариантов выполнения работы.

Стенд №3 «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления».

Данный стенд позволяет изучить методы по измерению электропроводности грунтов и заземляющих устройств подстанций и привить соответствующие навыки студентам. В основу измерения электропроводности грунтов положен метод вертикального электрического зондирования, так как данный метод нашел широкое применение на практике. Измерение сопротивления заземления ПС производится по методу амперметра – вольтметра. Указанные методы измерений электропроводности грунтов и заземления рекомендованы СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Кроме этого, полученные данные по электропроводности грунта на ПС позволяют определить сопротивление ЗУ расчетным путем и сравнить результаты с измеренными данными. Таким образом, работа на данном стенде позволит студентам получить навыки по использованию расчетных и инструментальных методов по определению сопротивления заземления, а также рассчитать напряжение на ЗУ в режиме КЗ. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №4 «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения».

Данный стенд позволяет изучить метод амперметра-вольтметра при определении сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения.

Кроме этого данный стенд наглядно демонстрирует работу шины уравнивания потенциалов для снижения сопротивления металlosвязи и подсыпки из щебня в рабочих зонах на ПС для снижения напряжения прикосновения. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №5 «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

Данный стенд позволяет изучить влияние режимов КЗ на функционирование МПУ, связанных с надежностью контрольных кабелей. Одной из основных причин выхода из строя контрольного кабеля является протекание токов по экранам контрольного кабеля, которые способны привести к термическому разрушению кабеля. Стенд позволяет изучить метод имитации режима КЗ для оценки токов в экране контрольного кабеля в случае возникновения однофазного КЗ на подстанции. Кроме этого стенд демонстрирует эффективность использования ШУП для снижения токов в экранах контрольных кабелей. Методическое обеспечение данного стенда включает 30 вариантов выполнения работы - 15 вариантов при имитации ПС110кВ и 15 вариантов при имитации ПС 220кВ.

Стенд №6 «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Данный стенд изучает влияние переходных процессов в момент возникновения КЗ на ОРУ подстанций. Основным негативным фактором, влияющим на работоспособность МПУ в первый момент времени при возникновении КЗ, являются высокочастотные составляющие тока КЗ, которые через емкостные связи могут привести к термическому разрушению МПУ или к срыву их функционирования. Стенд позволяет изучить методы по определению импульсного сопротивления оборудования, синфазных и противофазных помех, поступающих на вход МПУ и оценить опасность данных помех для функционирования МПУ. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы - 3 варианта при имитации ПС110кВ и 3 варианта при имитации ПС 220кВ.

Таким образом, стенд №1 и стенд №2 позволяют приобрести навыки по изучению показателей качества источников постоянного и переменного тока. Стенд №3 и №4 позволяют получить теоретические знания и практические навыки, связанные с диагностикой заземляющих устройств. Стенд №5 и №6 дают практические навыки и знания студентам по оценке негативного влияния режимов КЗ на МПУ

На рисунке 1.10 приведен план расположения оборудования в лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

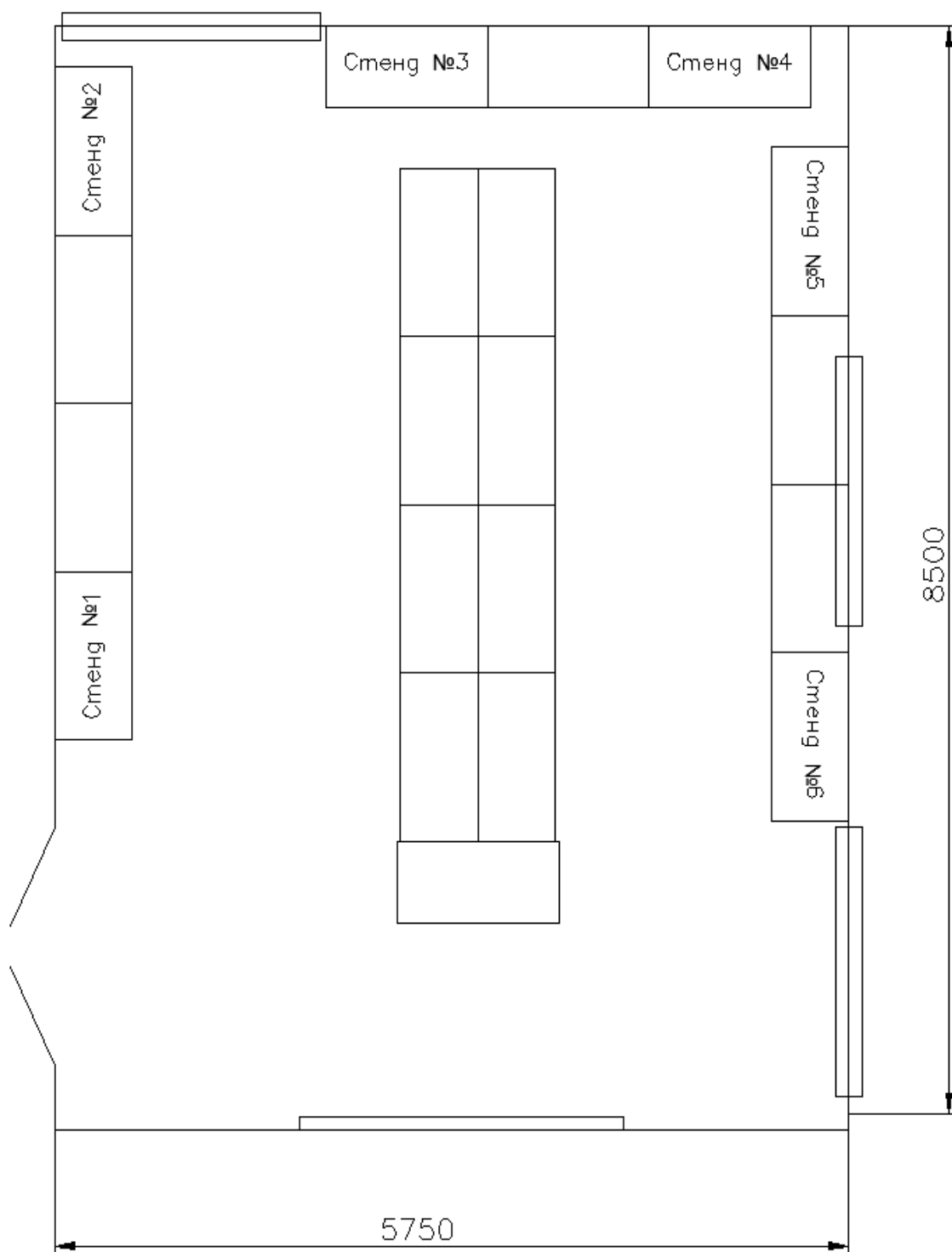


Рисунок 1.10 – План расположения оборудования в лаборатории

1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории

Для питания стендов используется трехфазный переменный ток. Схема электроснабжения приведена на рисунке 1.11.

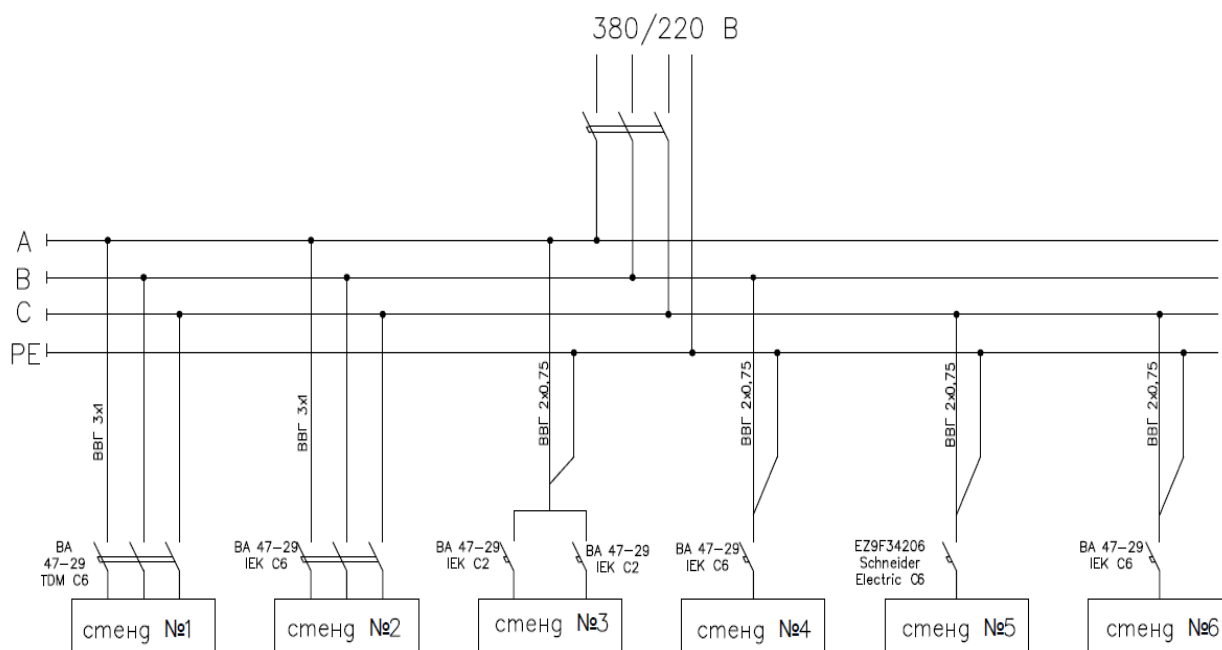


Рисунок 1.11 - Схема электроснабжения лаборатории

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели. Перечень применяемых вводных автоматических выключателей по стендам приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень автоматических выключателей

Стенд	Марка и характеристики автоматического выключателя	Количество
«Оценка качества электропитания источника постоянного тока»	ВА 47-29 TDM C6 3p	1
Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»	ВА 47-29 IEK C6 3p	1
«Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»	ВА 47-29 IEK C2 2p	2
«Определение металлосвязи и напряжения прикосновения»	ВА 47-29 IEK C6 2p	1
«Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»	EZ9F34206 Schneider Electric C6 2p	1
«Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»	ВА 47-29 IEK C6 2p	1

Стенд № 1 получает питание от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 TDM С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1

Стенд №2 также запитывается от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1.

Стенд № 3 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. На данном стенде выполняются 2 лабораторные работы и на каждую работу установлен отдельный двухполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С2. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 4 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 5 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсный автоматический выключатель EZ9F34206 Schneider Electric С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд №6 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 IEK С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

На стендах по изучению «Электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости» используются различные приборы. Приборный парк лаборатории представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Приборный парк лаборатории

Наименование прибора	Марка (модель), характеристики	Количество
Амперметр переменного тока	CZ-96, 0...3А	1
Аналоговый амперметр переменного тока	CG -72, 0...500мА	1
Осцилограф	Fluke 196C	1
Мультиметр	Bort BMM-1000N	5
Мультиметр	Best DT-9205M	2
Мультиметр	Mastech MS8268	1
Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза	MHS-5200P 25	1
Анализатор реистратор качества электрической энергии с функцией измерения фликера	REN-700	1

1.4 Вывод по разделу 1

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанные стенды позволяют оценить основные параметры электромагнитных обстановки и совместимости на подстанциях, соответствующие требованиям нормативных документов Федеральной сетевой компании единой энергетической службы (ФСК ЕЭС) России.

2. Использование современных измерительных приборов позволяет научить студентов их применению в реальных условиях эксплуатации оборудования на ПС.

Глава 2 - Теоретическое изучение влияния качества выпрямленного напряжения на работоспособность МПУ

2.1 - Электромагнитные помехи и требования к источнику постоянного тока.

2.1.1 Электромагнитные помехи.

На рисунке 2.1 изображены основные источники электромагнитных помех.

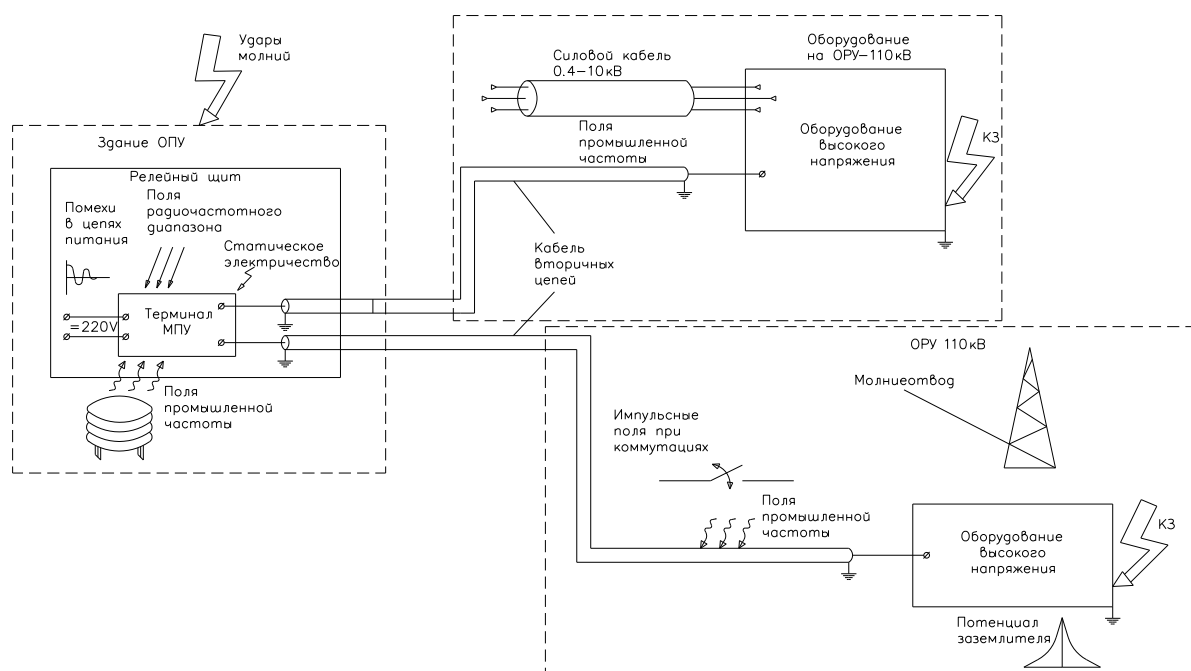


Рис.2.1. Источники электромагнитных помех

- Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю в распределительных установках напряжение выше 1 кВ. При возникновении КЗ, через паразитные емкости оборудования по отношению к земле, проходит импульсных ток высокой частоты. На оборудовании возникает скачек потенциала. Возросший потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход устройства МПУ, что может привести к термическому разрушению устройства.

- Импульсные помехи во вторичных цепях. Возникновение импульсных помех в цепях вторичной коммутации связано со следующими воздействиями в первичных цепях: КЗ на землю на шинах РУ, коммутацией разъединителей, короткозамыкателей и выключателей; срабатывания разрядников.

- Импульсные помехи при ударах молнии. При ударе молнии в объект в результате возникновения электромагнитного поля в контрольных кабелях наводятся импульсные помехи. Ток молнии, протекающий по ЗУ, создает высокий потенциал на земле и может вызвать обратные перекрытия изоляции контрольных кабелей.

- Электромагнитные поля радиочастотного диапазона. При коммутациях первичного оборудования и при КЗ на шинах РУ протекают импульсные токи. Электромагнитные поля от данных токов создают импульсные помехи в цепях вторичной коммутации. Наибольший уровень излучаемых помех отмечают при КЗ на шинах РУ.

- Разряды статического электричества. Наиболее часто встречается форма возникновения электростатических зарядов- электризация трением. Электризация трением проявляется, как правило, вследствие контакта тела человека с его одеждой, стулом, полом, рабочими средствами и предметами, а также при соприкосновении деталей, панелей, приборов с другими устройствами. На действующих объектах энергетики для устройства МПУ наиболее вероятными источниками статического электричества являются персонал, обслуживающий эти устройства. Потенциал тела человека может достигать 15кВ и при обслуживании МПУ разряд статического электричества приведет к пробое изоляции устройства.

- Магнитные поля промышленной частоты. Токи утечки не только влияют на инженерные системы, здания и компьютерное оборудование, но и оказывают негативное воздействие на здоровье людей. Известно, что магнитное поле в окружающем пространстве создается проводниками с током. Таким образом, причина появления магнитных полей промышленной частоты (МП ПЧ) вблизи силовых трансформаторов, электродвигателей, распределительных устройств очевидна. Установлено, что источником электромагнитного загрязнения в промышленных и жилых зданиях, кроме паразитного излучения электромагнитного поля различными приборами, является протекание постоянных и переменных токов по металлоконструкциям и трубопроводным системам зданий; источниками таких токов практически всегда являются системы электроснабжения этих же зданий. Кроме того, из электротехники хорошо известно, что суммарный ток по линиям питания однофазных и трехфазных нагрузок при отсутствии токов утечки тождественно равен нулю и магнитное поле, создаваемое протекающими в таких (без утечек) кабельных линиях токами, на расстоянии от них более 15-20 см также пренебрежимо мало. При появлении в кабельной линии тока утечки, именно этот ток создает в

окружающем пространстве магнитное поле, медленно убывающее с увеличением расстояния от рассматриваемого кабеля.

- Импульсные магнитные поля. Импульсные магнитные поля нашли большое применение в технике физического эксперимента и в современных технологиях. Это связано с тем, что, с одной стороны, в ряде физических задач, в частности для исследований по управляемому термоядерному синтезу, в различных разделах ядерной физики, в технике сильноточных пучков заряженных частиц и многих других наличие магнитного поля достаточно в течение весьма малого промежутка времени, обычно менее 0,1 с. С другой стороны, импульсный метод создания магнитного поля часто оказывается более простым, чем создание постоянного поля такой же величины, а при индукции более 10 Т остается практически единственно возможным.

- Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания МПУ постоянного тока и переменного тока. К основным периодическим помехам в цепях постоянного тока относятся переменные составляющие напряжения (пульсации) и кондуктивные помехи радиочастотного диапазона, а в цепях питания переменного тока - гармонические составляющие напряжения. Импульсные помехи в цепях постоянного и переменного тока возникают при коммутации реле, электромагнитов, приводов силовых выключателей, автоматических выключателей. Следовательно, с позиции электромагнитной совместимости к источникам постоянного тока предъявляются соответствующие требования, выполнение которых приводит к качественному функционированию микропроцессорных установок.

2.1.2 Критерии источника постоянного тока, отвечающие требованиям ЭМС.

Критерии источника постоянного тока, отвечающие требованиям ЭМС приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 Критерии источника постоянного тока, отвечающие требованиям ЭМС

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1.	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (1с) 60% (0,1с)		Только для входных портов.
2.	Прерывания напряжения		100% (0,5с)		
3.	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 ст. жест.	Пульсации не выше 10%.	Для всех портов питания постоянного тока.
4.	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц.	ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Не ниже 3 ст. жест.	10В (длительно) 100В (1с)	Для всех портов питания постоянного тока.
5.	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод - земля 3 ст. жест. Провод – провод 2 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.

Продолжение таблицы 2.1

6.	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
7.	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех портов питания постоянного тока.
8.	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания постоянного тока.

Испытания технических средств (ТС) на помехоустойчивость проводят во время разработки ТС и при приемочных, приемосдаточных, периодических, типовых и сертификационных испытаниях. При испытаниях ТС на помехоустойчивость должны быть выбраны виды испытаний, необходимые для обеспечения работоспособности ТС в условиях эксплуатации, однако по экономическим соображениям число видов испытаний может быть ограничено до приемлемого минимума. Допускается уменьшать число видов испытаний на помехоустойчивость при приемосдаточных и периодических испытаниях по сравнению с приемочными и типовыми испытаниями. При установлении требований помехоустойчивости конкретного ТС и соответствующих видов испытаний учитывают: - характеристики электромагнитных помех,

воздействующих на ТС; - условия окружающей обстановки при эксплуатации ТС; - требования надежности и устойчивости функционирования ТС; - экономические ограничения; - характеристики ТС.

Использование указанных классов рассматривается как основа для выбора степеней жесткости испытаний.

Класс 1 - обстановка, характеризующаяся низким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю расположения маломощных радиовещательных и телевизионных передатчиков на расстоянии более 1 км от места эксплуатации ТС.

Класс 2 - обстановка, характеризующаяся средним уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью менее 1 Вт при ограничении их работы в непосредственной близости к ТС. Представляет собой типичную коммерческую обстановку.

Класс 3 - обстановка, характеризующаяся высоким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью более 1 Вт в непосредственной близости к ТС (но не менее 1м), а также близкому расположению мощных радиовещательных и телевизионных передатчиков и промышленных, научных и медицинских высокочастотных установок. Представляет собой типичную промышленную обстановку

Класс 4 - особые условия электромагнитной обстановки при эксплуатации ТС, применительно к которым степень жесткости испытаний устанавливают в стандарте на ТС конкретного вида или в технической документации на ТС.

Опыт эксплуатации современных источников постоянного тока показывает, что определяющими факторами качества выпрямленного напряжения является пульсация напряжения и отклонение напряжения источника постоянного тока. Таким образом, при разработке стенда по исследованию качества напряжения необходимо учитывать вышеуказанные факторы в первую очередь

2.2 Общая характеристика источников постоянного тока.

Источник постоянного тока можно разделить на две группы. К первой группе относятся источники на базе выпрямителей с использованием специальных фильтров, снижающих пульсацию напряжения. Ко второй группе источников постоянного тока относят источники, выполненные на базе выпрямительного устройства с использованием аккумуляторных батарей. Первая группа широко используется в передвижных и стационарных электроустановках, имеет небольшие габариты. Вторая группа источников постоянного тока в основном используется на подстанциях напряжением 110 кВ и выше. Аккумуляторное помещение имеет габариты превышающие выпрямительное устройство в несколько раз. Поэтому применение источников постоянного тока второй группы реже используется в передвижных и малогабаритных стационарных установках. На рисунках 2.2-2.5 приведены основные схемы выпрямительных устройств, на основании которых изготавливаются ИПТ.

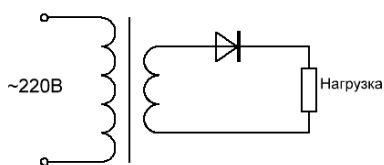


Рисунок 2.2 – однополупериодный выпрямитель

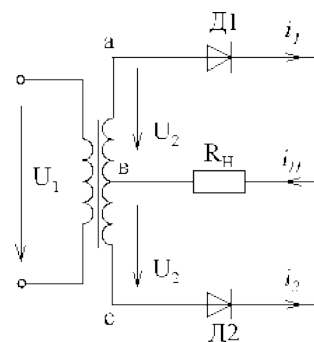


Рисунок 2.3 - Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой вторичной обмотки трансформатора

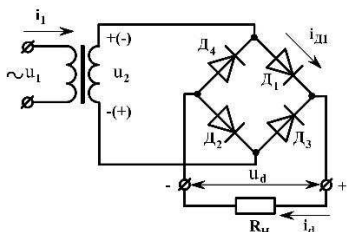


Рисунок 2.4 – мостовой выпрямитель

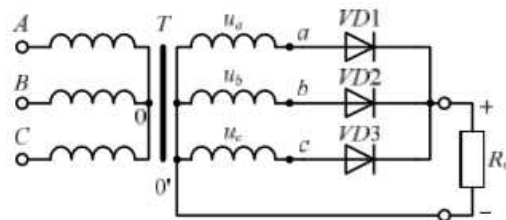


Рисунок 2.5 – трехфазный выпрямитель

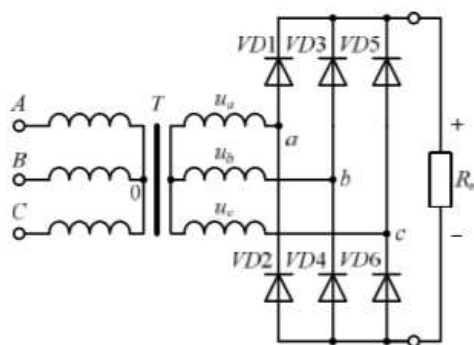


Рисунок 2.6 – мостовой трехфазный выпрямитель

2.3 Влияние аварийных режимов на качество электроэнергии

Аварийные режимы в источниках постоянного тока могут привести к сильному нарушению показателей качества электроэнергии и увеличению пульсации и к расширению спектра гармоник выпрямленного напряжения. Проанализируем влияние основных видов аварий на качество выпрямленного напряжения.

К основным видам аварий в выпрямителях относятся:

- КЗ внутри диода, приводящее, как правило, к выгоранию выпрямителя, если устройство не будет защищено устройством защиты от КЗ

- Обрыв внутри диода, вследствие термического разрушения диода. В этом случае ток по диоду не протекает, и выпрямительное устройство теряет фазу в процессе выпрямления.

Проанализируем влияние аварии на качество источника на примере последнего случая, т.к. данный случай не отключается релейной защитой.

Для этой цели сравним показатели качества (пульсацию) ИПТ и спектральный состав до аварийного режима и в аварийном режиме.

2.3.1. Пульсация и спектральный состав выпрямителя напряжения в безаварийном режиме.

Наибольшее применение нашли двух- и трехполупериодное выпрямление, а также схема Ларионова (мостовой трехфазный выпрямитель).

2.3.1.1. Двухполупериодное выпрямление

На рисунке 2.7 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием двухполупериодного выпрямителя

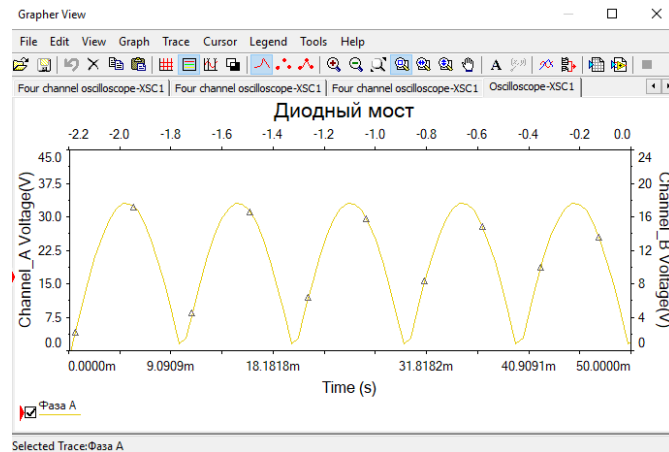


Рисунок 2.7 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании двухполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Для анализа пульсации и оценки спектрального состава примем $t=0$ и $A_m=34V$ что соответствует действующему значению напряжения цепи переменного тока при $U=24V$

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 21,65 + 14,44 - 2,89 + 1,23$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f_2^2 + f_4^2 + f_6^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{208,51 + 8,35 + 1,51}}{24} \cdot 100\% = \frac{14,777}{24} \cdot 100\% = 61,5\%$$

$$A_{пульс}(f_2) = \frac{14,44}{24} \cdot 100\% = 60,1\%$$

$$A_{пульс}(f_4) = \frac{2,89}{24} \cdot 100\% = 12,04\%$$

$$A_{пульс}(f_6) = \frac{1,51}{24} \cdot 100\% = 6,2\%$$

$$K_{имп} = \left(1 - \left(\frac{U_{пост} - U_{перем.мах}}{U_{пост}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{21,65 - 14,44}{21,65} \right) \right) \cdot 100\% = 66,7$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 61,5 % а пульсация равна 66,7% что превышает допустимый уровень равный 10%.

2.3.1.2.Трехполупериодное выпрямление

На рисунке 2.8 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием трехполупериодного выпрямителя. Для наглядности на графике показаны Фазы А,В, и С до выпрямления и выпрямленное напряжение на нагрузке.

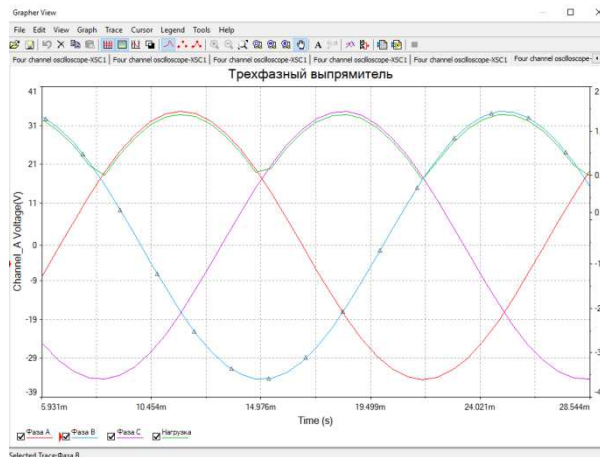


Рисунок 2.8 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании трехполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Ряд Фурье, полученный при разложении данной кривой будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 28,1 + 7,025 - 1,6 + 0,7025$$

$$Ku = \frac{\sqrt{f_3^2 + f_6^2 + f_9^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{49,35 + 2,56 + 0,493}}{24} \cdot 100\% = \frac{7,24}{24} \cdot 100\% = 30,1\%$$

$$A_{пульс}(f_3) = \frac{7,025}{24} \cdot 100\% = 29,2\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{1,6}{24} \cdot 100\% = 6,6\%$$

$$\text{Апульс}(f_9) = \frac{0,7025}{24} \cdot 100\% = 2,9\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{28,1 - 7,025}{28,1} \right) \right) \cdot 100\% = 25\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 30,1 % а пульсация равна 25% что превышает допустимый уровень равный 10%.

2.3.1.3 Шестиполупериодная схема выпрямления (схема Ларионова)

На рисунке 2.9 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием шестиполупериодного выпрямителя

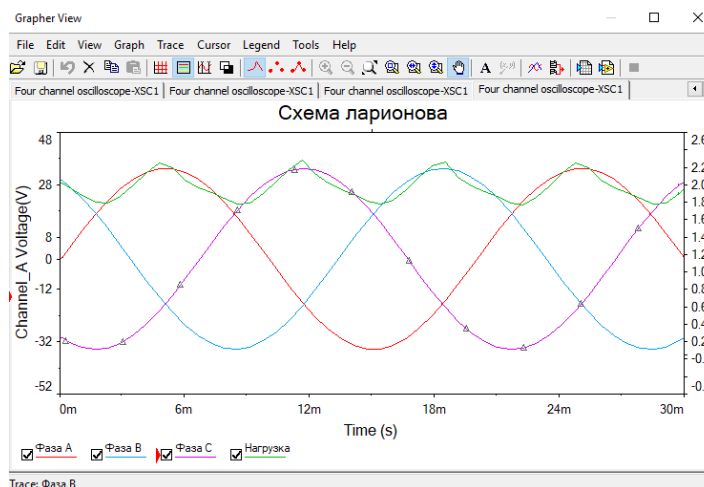


Рисунок 2.9 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании шестиполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Ряд Фурье, полученный при разложении данной кривой будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3a_m}{\pi} \left(1 + \frac{2\cos 6\omega t}{5 \cdot 7} - \frac{2\cos 12\omega t}{11 \cdot 13} + \frac{2\cos 18\omega t}{17 \cdot 19} - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 32,48 + 1,856 - 0,4542 + 0,2011$$

$$Ku = \frac{\sqrt{f6^2 + f12^2 + f18^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3,444 + 0,206 + 0,04}}{24} \cdot 100\% = \frac{1,92}{24} \cdot 100\% = 8\%$$

$$\text{Апульс}(f6) = \frac{1,856}{24} \cdot 100\% = 7,73\%$$

$$\text{Апульс}(f12) = \frac{0,4542}{24} \cdot 100\% = 1,8\%$$

$$\text{Апульс}(f18) = \frac{0,2011}{24} \cdot 100\% = 0,8\%$$

$$K_{имп} = \left(1 - \left(\frac{U_{пост} - U_{перем.мах}}{U_{пост}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{32,48 - 1,856}{32,48} \right) \right) \cdot 100\% = 5,8\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 8 % а пульсация равна 5,8% что соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ.

Таким образом схема Ларионова представляет наибольшую практическую значимость для выпрямления трехфазного переменного тока, т.к. коэффициент искажения синусоидальности и пульсации минимальны и не превышает допустимых значений. Использование двухфазной схемы выпрямления требует специальных устройств для сглаживания пульсаций. В качестве данных устройств могут выступать широкополосные фильтры на базе конденсаторов либо LC-фильтры

2.3.2 Пульсации и спектральный состав выпрямителя напряжения в аварийном режиме

В качестве аварийного режима рассмотрим обрыв в диоде

2.3.2.1 Аварийный режим в двухполупериодном выпрямителе

На рисунке 2.10 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в двухполупериодном выпрямителе в среде multisim

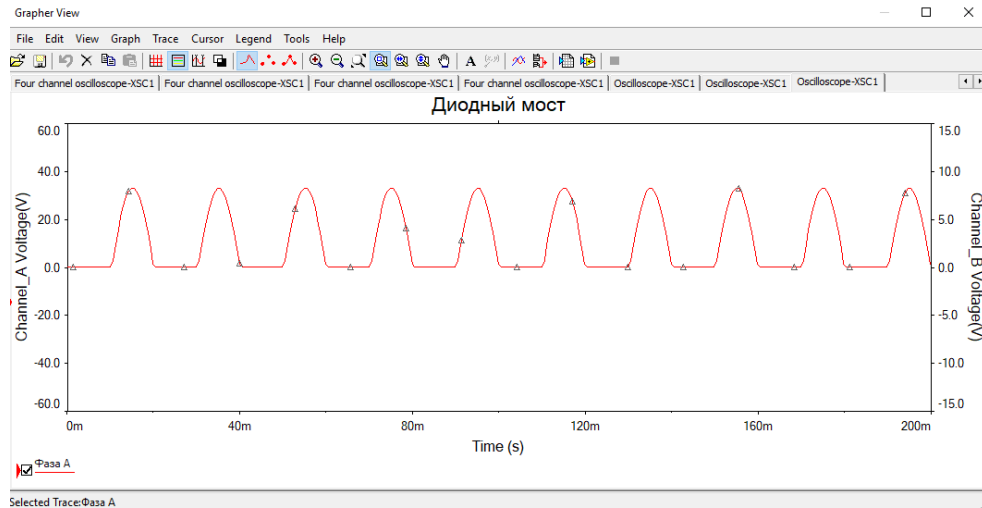


Рисунок 2.10 –Осцилограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в двухполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 2.10 при обрыве диода в двухполупериодном выпрямителе, он начинает работать как однополупериодный.

Разложим данную кривую в ряд Фурье:

$$f(\omega t) = \frac{2am}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 3\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 5\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 7\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 10.82 + 17 + 7.21 - 1.44 + 0.618$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f_6^2 + f_{12}^2 + f_{18}^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{51.98 + 289 + 2.0736 + 0.381}}{24} \cdot 100\% = 77.2\%$$

$$\text{Апульс}(f_1) = \frac{17}{24} \cdot 100\% = 70.83\%$$

$$\text{Апульс}(f_2) = \frac{7.21}{24} \cdot 100\% = 30.04\%$$

$$\text{Апульс}(f_4) = \frac{1.44}{24} \cdot 100\% = 6\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{0.618}{24} \cdot 100\% = 2.5\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{10.82 - 17}{10.82} \right) \right) \cdot 100\% = 157\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае аварийного режима диодов двухполупериодного выпрямления составляет 77,2 % а пульсация равна 157% что не соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ

2.3.2.2 Аварийный режим в трехполупериодном выпрямителе

На рисунке 2.11 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в трехполупериодном выпрямителе в среде multisim

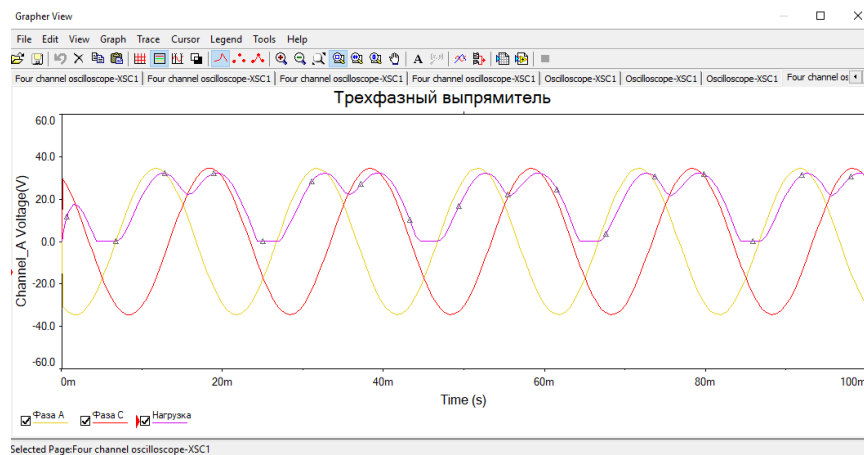


Рисунок 2.11 – Осциллограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в трехполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 2.11 при обрыве диода в трехполупериодном выпрямителе, он начинает работать как двухполупериодный.

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 21,65 + 14,44 - 2,89 + 1,23$$

$$Ku = \frac{\sqrt{f_2^2 + f_4^2 + f_6^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{208,51 + 8,35 + 1,51}}{24} \cdot 100\% = \frac{14,777}{24} \cdot 100\% = 61,5\%$$

$$A_{пульс}(f_2) = \frac{14,44}{24} \cdot 100\% = 60,1\%$$

$$\text{Апульс}(f_4) = \frac{2.89}{24} \cdot 100\% = 12.04\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{1.51}{24} \cdot 100\% = 6.2\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{21,65 - 14,4}{21,65} \right) \right) \cdot 100\% = 66,5\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае аварийного режима диодовдвухполупериодного выпрямления составляет 61,5 % а пульсация равна 66,5% что не соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ

2.3.2.3 Аварийный режим в шестиполупериодном выпрямителе

На рисунке 2.12 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в шестиполупериодном выпрямителе в среде multisim

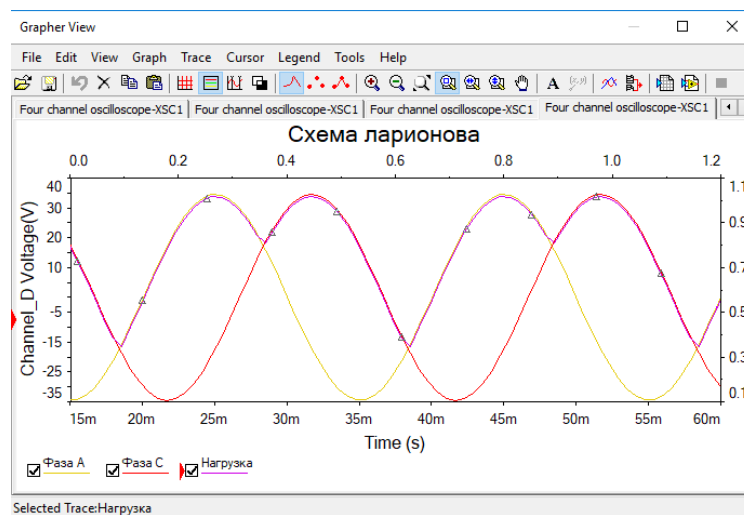


Рисунок 2.12 – Осциллограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в шестиполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 2.12 при обрыве диода в шестиполупериодном выпрямителе, он начинает работать как трехполупериодный.

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 28,1 + 7,025 - 1,6 + 0,7025$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f3^2 + f6^2 + f9^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{49,35 + 2,56 + 0,493}}{24} \cdot 100\% = \frac{7,24}{24} \cdot 100\% = 30,1\%$$

$$\text{Апульс}(f3) = \frac{7,025}{24} \cdot 100\% = 29,2\%$$

$$\text{Апульс}(f6) = \frac{1,6}{24} \cdot 100\% = 6,6\%$$

$$\text{Апульс}(f9) = \frac{0,7025}{24} \cdot 100\% = 2,9\%$$

$$K_{имп} = \left(1 - \left(\frac{U_{пост} - U_{перем.мах}}{U_{пост}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{28,1 - 7,025}{28,1} \right) \right) \cdot 100\% = 25\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 30,1 % а пульсация равна 25% что превышает допустимый уровень равный 10%.

2.3.2.4 Сравнительный анализ полученных результатов

В таблице 2.2 приведены результаты коэффициентов искажения синусоидальности кривой и пульсации для различных схем выпрямления в нормальном и аварийном режимах

Таблица 2.2 Коэффициент искажения синусоидальности кривой и коэффициент пульсации для нормального и аварийного режимов работы выпрямителя

№	Схема выпрямления	Нормальный режим		Аварийный режим	
		Ku	Кимп	Ku	Кимп
1	Двухполупериодное	61.5	66.7	77.2	157
2	Трехполупериодное	30.1	25	61.5	66.5
3	Шестиполупериодное	8	5.8	30.1	25

Анализ данной таблицы показывает, что в аварийном режиме возрастает коэффициент пульсации и коэффициент искажения синусоидальности кривой.

В аварийном режиме данные показатели превышают допустимые значения, следовательно, эксплуатация выпрямителей невозможна. По указанным значениям коэффициентов можно утверждать, что в одном плече выпрямителя перегорел диод.

2.4 Моделирование стенда в среде multisim

2.4.1 Двухполупериодный выпрямитель

2.4.1.1 Спектральный состав напряжения двухполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.13-2.16 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при моделировании двухполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim. В качестве LC-фильтра примем $L=0.1\text{Гн}$ и $C=100\text{мкФ}$ а в таблице 2.3 приведены результаты спектрального анализа.

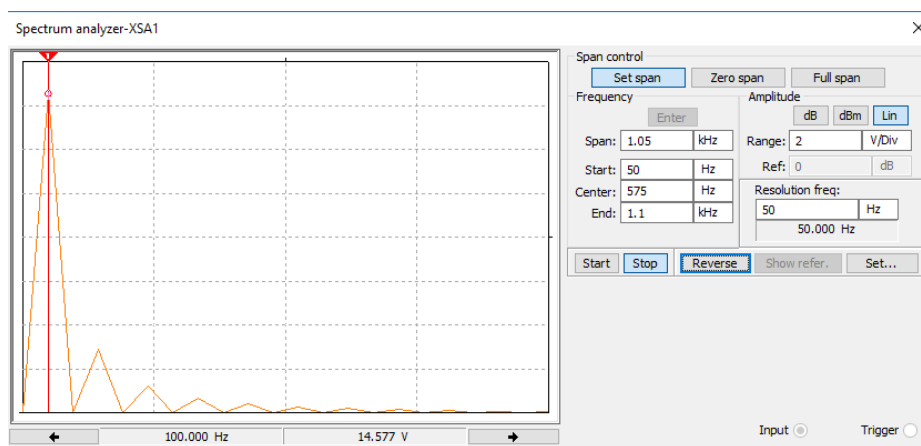


Рисунок 2.13 – Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

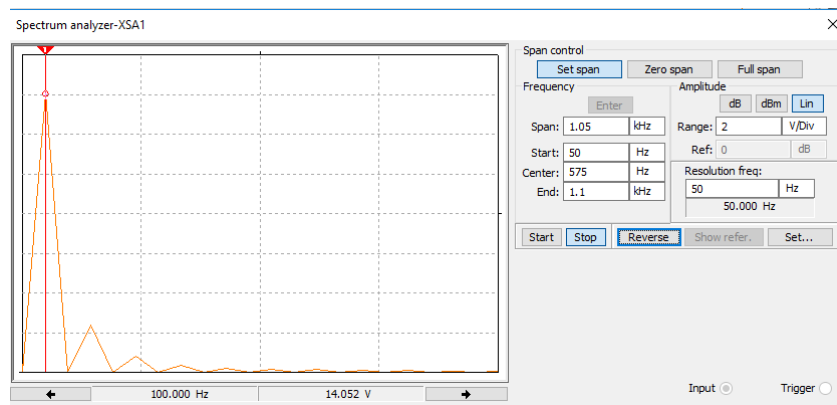


Рисунок 2.14 – Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя с использованием конденсатора 10мкФ в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

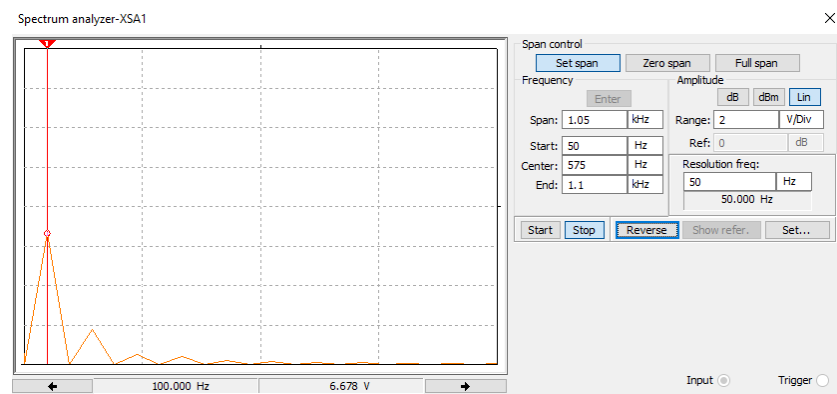


Рисунок 2.15 – Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя с использованием конденсатора 100мкФ в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

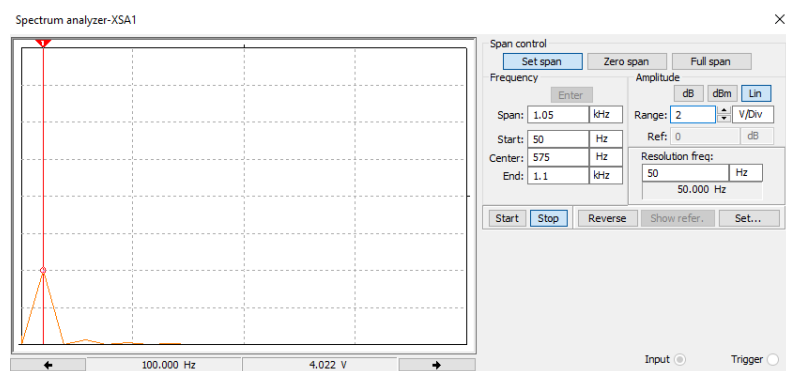


Рисунок 2.16 – Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя с использованием LC-фильтра в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

Таблица 2.3 – Значения напряжений в отдельных гармониках, в безаварийном режиме двухполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота, Гц	Без конденсаторов	Конденсатор C=10мкФ	Конденсатор C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	2 нВ	15 мВ	156 нВ	7 нВ
2	100	14,577 В	14,052 В	6,678 В	4,022 В
3	150	23 нВ	22 нВ	31 нВ	0,001В
4	200	2,867 В	2,387 В	1,789 В	0,256 В
5	250	10 нВ	7 нВ	39 нВ	431нВ
6	300	1,2 В	0,789 В	0,528 В	0,096 В
7	350	8 нВ	14 нВ	11 нВ	533нВ
8	400	0,66 В	0,332 В	0,382 В	0,042В
9	450	11 нВ	12 нВ	25 нВ	231 нВ
10	500	0,396 В	0,199 В	0,216 В	0,019 В
11	550	10 нВ	23 нВ	13 нВ	572 нВ
12	600	0,263 В	0,163 В	0,154 В	0,009 В
13	650	9 нВ	1 нВ	12 нВ	216нВ
14	700	0,182 В	0,139 В	0,118 В	0,005 В
15	750	15 нВ	3 нВ	12 нВ	210 нВ
16	800	0,128 В	0,114 В	0,085 В	0,003 В
17	850	1 нВ	14 нВ	8 нВ	163 нВ
18	900	0,093 В	0,089 В	0,072 В	0,002 В
19	950	2 нВ	8 нВ	15 нВ	162 нВ
20	1000	0,069 В	0,067 В	0,056 В	0,001 В
21	1050	3 нВ	9 нВ	6 нВ	136 нВ
22	1100	0,051 В	0,04 В	0,048 В	0,001 В

Сравнивая результаты, представленные в таблице 2.3 с результатами разложения кривой в ряд Фурье, видно, что амплитуды основных гармоник 2, 4, 6 практически совпадают. Следовательно, спектрометр можно использовать для анализа амплитуд высших гармоник в аварийном режиме.

2.4.1.2 Спектральный состав двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.17-2.19 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при

моделировании двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim

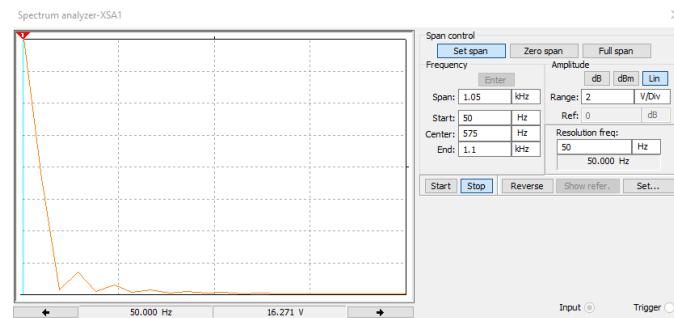


Рисунок 2.17 Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

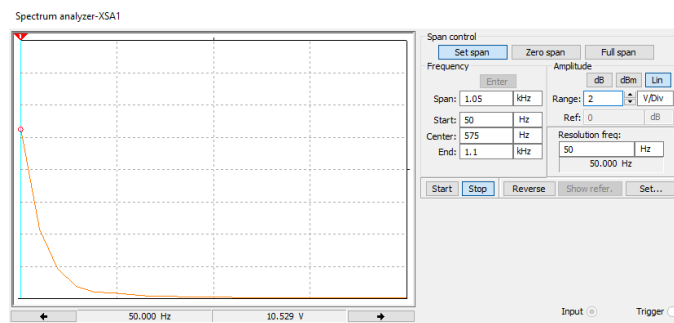


Рисунок 2.18 Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием конденсатора 100мкФ, полученный в среде multisim

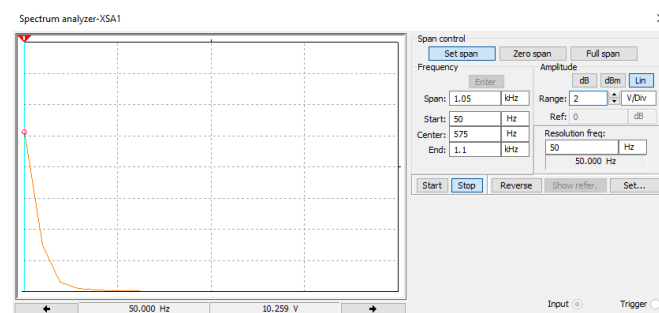


Рисунок 2.19 Спектральный состав выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием LC-фильтра, полученный в среде multisim

Таблица 2.4 - Значения напряжений в отдельных гармониках, в аварийном режиме двухполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота, Гц	Без конденсаторов	C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	16,271 В	10,529 В	10,259 В
2	100	7,156 В	4,250 В	2,932 В
3	150	0,365 В	1,891 В	0,626 В
4	200	1,418 В	0,742 В	0,202 В
5	250	0,2 В	0,384 В	0,120 В
6	300	0,597 В	0,340 В	0,053 В
7	350	0,139 В	0,262 В	0,040 В
8	400	0,323 В	0,173 В	0,021 В
9	450	0,101 В	0,129 В	0,018 В
10	500	0,193 В	0,118 В	0,010 В
11	550	0,08 В	0,099 В	0,009 В
12	600	0,128 В	0,075 В	0,006 В
13	650	0,066 В	0,064 В	0,005 В
14	700	0,09 В	0,059 В	0,003 В
15	750	0,055 В	0,051 В	0,003 В
16	800	0,064 В	0,042 В	0,002 В
17	850	0,048 В	0,038 В	0,002 В
18	900	0,047 В	0,035 В	0,002 В
19	950	0,041 В	0,031 В	0,002 В
20	1000	0,035 В	0,027 В	0,001 В
21	1050	0,036 В	0,025 В	0,001 В
22	1100	0,026 В	0,023 В	0,001 В

Сопоставляя результаты исследований нормального и аварийного режимов, видим, что спектральный состав выпрямленного напряжения не меняется, однако появляется основная гармоника, амплитуда которой по сравнению с нормальным режимом возросла в $8 \cdot 10^9$ раз

2.4.2 Трехполупериодный выпрямитель

2.4.2.1 Спектральный состав напряжения трехполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.20-2.22 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при

моделировании трехполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim. В качестве нагрузок будем использовать конденсатор емкостью $C=100$ мкФ и индуктивность емкостью $L=0,1$ Гн а в таблице 2.5 приведены результаты спектрального анализа.

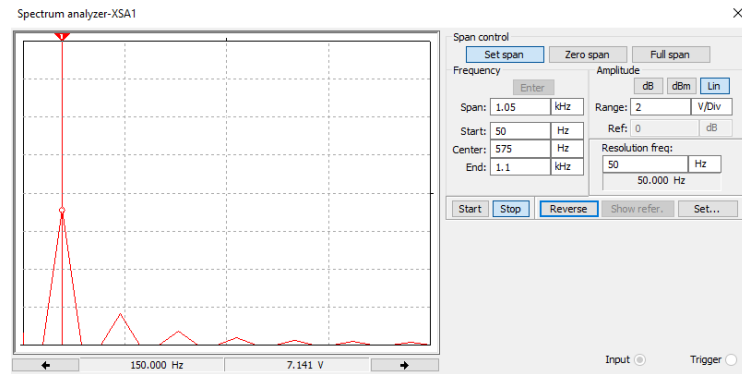


Рисунок 2.20 – Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

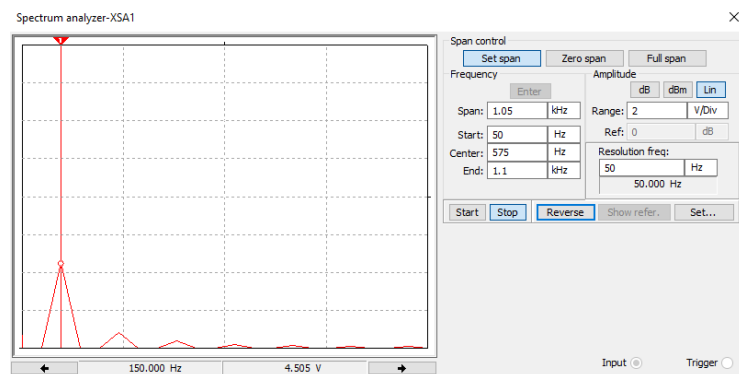


Рисунок 2.21 – Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя с использованием конденсатора 100мкФ в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

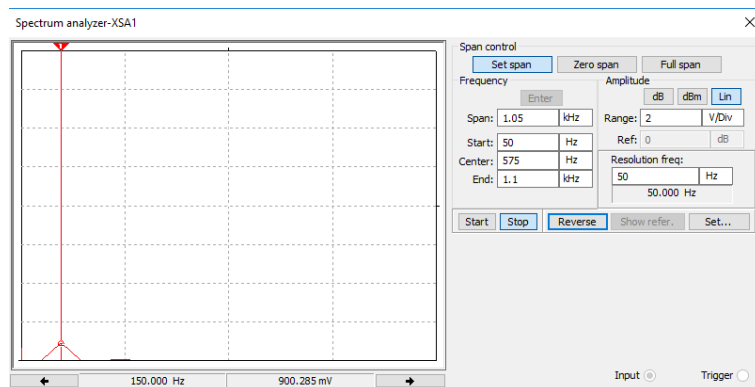


Рисунок 2.22 – Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя с использованием LC-фильтра в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

Таблица 2.5 – Значения напряжений в отдельных гармониках, в безаварийном режиме трехполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота, Гц	Без конденсаторов	Конденсатор C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	0,004 В	0,001 В	70 мкВ
2	100	0,004 В	0,001 В	7 мкВ
3	150	7,141 В	4,505 В	0,900 В
4	200	0,004 В	0,001 В	1,6 мкВ
5	250	0,004 В	0,001 В	1,1 мкВ
6	300	1,632 В	0,830 В	0,047 В
7	350	0,004 В	0,001 В	632 нВ
8	400	0,004 В	0,001 В	623 нВ
9	450	0,714 В	0,406 В	0,009 В
10	500	0,004 В	0,001 В	377 нВ
11	550	0,004 В	0,001 В	481 нВ
12	600	0,399 В	0,203 В	0,002 В
13	650	0,004 В	0,001 В	273 нВ
14	700	0,005 В	0,002 В	442 нВ
15	750	0,255 В	0,142 В	0,001 В
16	800	0,004 В	0,001 В	218 нВ
17	850	0,005 В	0,002 В	443 нВ
18	900	0,177 В	0,090 В	554 нВ
19	950	0,004 В	0,001 В	184 нВ
20	1000	0,005 В	0,002 В	464 нВ
21	1050	0,130 В	0,071 В	298 мкВ
22	1100	0,004 В	0,001 В	161 нВ

2.4.2.2 Спектральный состав трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.23-2.25 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при моделировании трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim. В качестве нагрузок использовались: конденсатор емкостью $C=100$ мкФ и индуктивность емкостью $L=0,1$ Гн

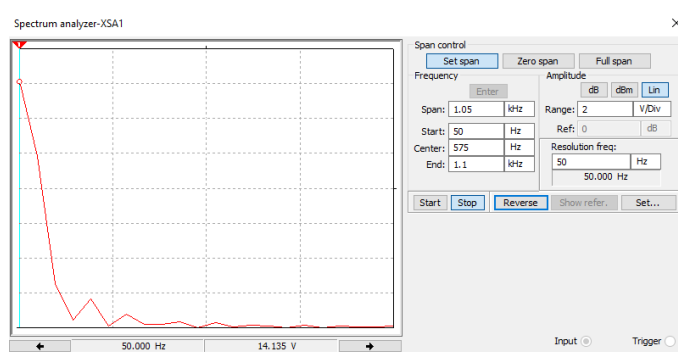


Рисунок 2.23 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

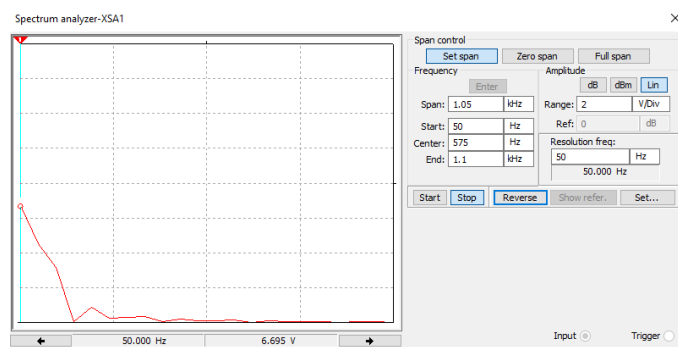


Рисунок 2.24 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием конденсатора 100мкФ, полученный в среде multisim

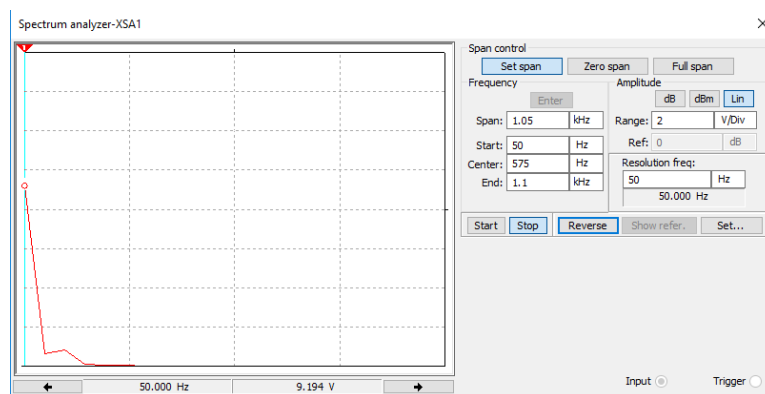


Рисунок 2.25 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием LC-фильтра, полученный в среде multisim

Таблица 2.6 - Значения напряжений в отдельных гармониках, в аварийном режиме трехполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота,Гц	Без конденсаторов	C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	14,135 В	6,695 В	9,194 В
2	100	9,799 В	4,540 В	0,613 В
3	150	2,545 В	3,163 В	0,821 В
4	200	0,439 В	0,026 В	0,081 В
5	250	1,631 В	0,872 В	0,051 В
6	300	0,075 В	0,217 В	0,063 В
7	350	0,757 В	0,3 В	0,017 В
8	400	0,183 В	0,338 В	0,016 В
9	450	0,189 В	0,026 В	0,014 В
10	500	0,343 В	0,206 В	0,008 В
11	550	0,014 В	0,107 В	0,007 В
12	600	0,285 В	0,081 В	0,004 В
13	650	0,023 В	0,121 В	0,004 В
14	700	0,127 В	0,020 В	0,003 В
15	750	0,117 В	0,085 В	0,002 В
16	800	0,012 В	0,065 В	0,002 В
17	850	0,145 В	0,027 В	0,002 В
18	900	0,003 В	0,063 В	0,001 В
19	950	0,094 В	0,018 В	0,001 В
20	1000	0,044 В	0,042 В	0,001 В
21	1050	0,025 В	0,042 В	0,001 В
22	1100	0,081 В	0,008 В	0,001 В

Сопоставляя результаты исследований безаварийного и аварийного режимов, видим, что спектральный состав выпрямленного напряжения не меняется, однако появляется основная гармоника амплитуда которой по сравнению с нормальным режимом возросла в $3 \cdot 10^3$ раз.

2.4.3 Шестиполупериодный выпрямитель

2.4.3.1 Спектральный состав напряжения шестиполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.26-2.28 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при моделировании шестиполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim. В качестве нагрузок будем использовать конденсатор емкостью $C=100$ мкФ и индуктивность емкостью $L=0,1$ Гн

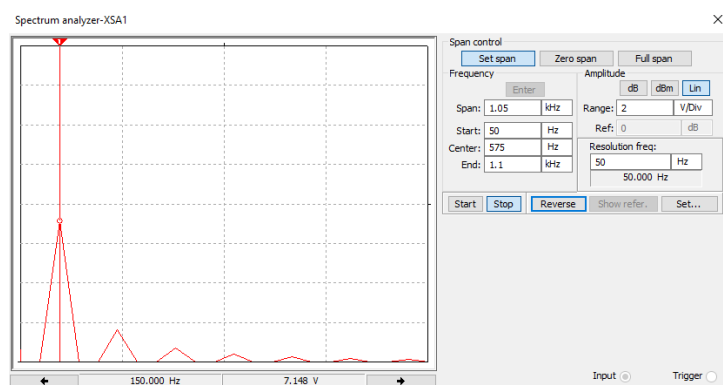


Рисунок 2.26 – Спектральный состав выпрямленного напряжения шестиполупериодного выпрямителя в безаварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

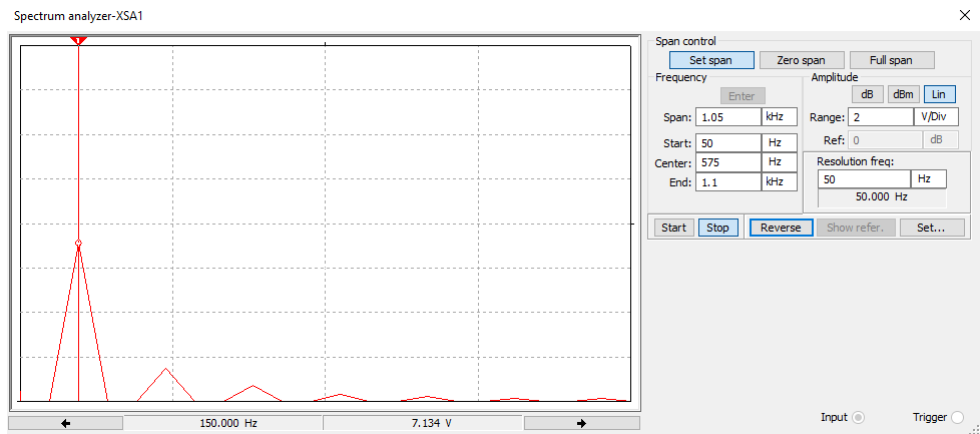


Рисунок 2.27 – Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя с использованием конденсатора 100мкФ в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

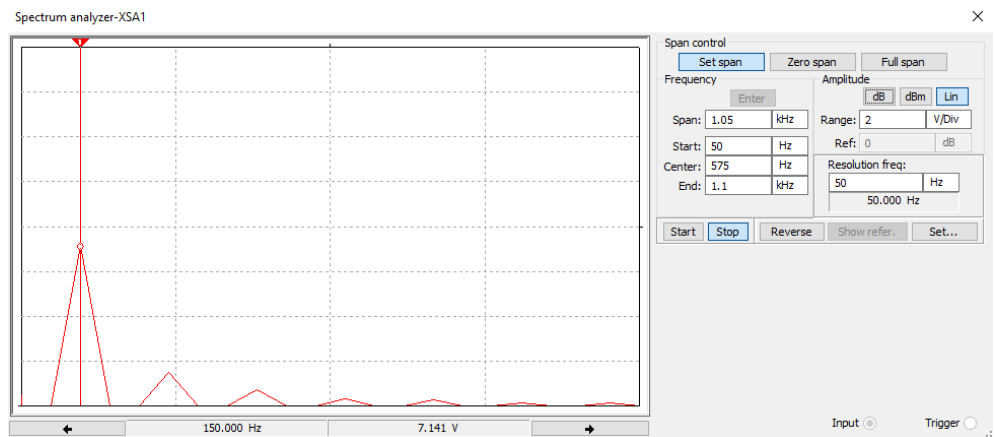


Рисунок 2.28 – Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя с использованием LC-фильтра в безаварийном режиме, полученный в среде multisim

Таблица 2.7 – Значения напряжений в отдельных гармониках, в безаварийном режиме шестиполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота, Гц	Без конденсаторов	Конденсатор C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	0,004 В	0,002 В	0,002 В
2	100	0,233 В	0,002 В	0,002 В
3	150	7,148 В	7,134 В	7,141 В
4	200	0,004 В	0,002 В	0,002 В
5	250	0,004 В	0,06 В	0,06 В
6	300	1,633 В	1,485 В	1,505 В
7	350	0,003 В	0,002 В	0,002 В
8	400	0,004 В	0,002 В	0,002 В
9	450	0,715 В	0,692 В	0,708 В
10	500	0,003 В	0,002 В	0,002 В
11	550	0,007 В	0,005 В	0,005 В
12	600	0,399 В	0,277 В	0,315 В
13	650	0,011 В	0,002 В	0,002 В
14	700	0,008 В	0,016 В	0,016 В
15	750	0,255 В	0,241 В	0,249 В
16	800	0,006 В	0,002 В	0,002 В
17	850	0,008 В	0,006 В	0,006 В
18	900	0,177 В	0,123 В	0,129 В
19	950	0,004 В	0,002 В	0,002 В
20	1000	0,005 В	0,003 В	0,003 В
21	1050	0,130 В	0,116 В	0,123 В
22	1100	0,003 В	0,002 В	0,002 В

2.4.2.2 Спектральный состав двухполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, полученный с помощью спектрального анализатора в среде multisim

На рисунках 2.29-2.31 представлены графики спектрального состава, полученные с помощью спектрального анализатора (spectrum analyzer), при моделировании шестиполупериодного выпрямителя в аварийном режиме, с различными видами нагрузок, в среде multisim. В качестве нагрузок использовались: конденсатор емкостью $C=100$ мкФ и индуктивность емкостью $L=0,1$ Гн

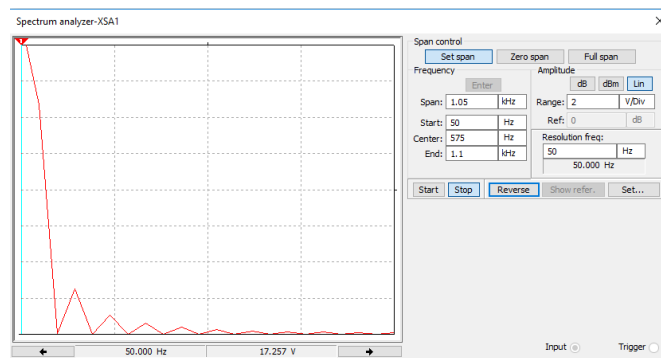


Рисунок 2.29 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме без конденсаторов, полученный в среде multisim

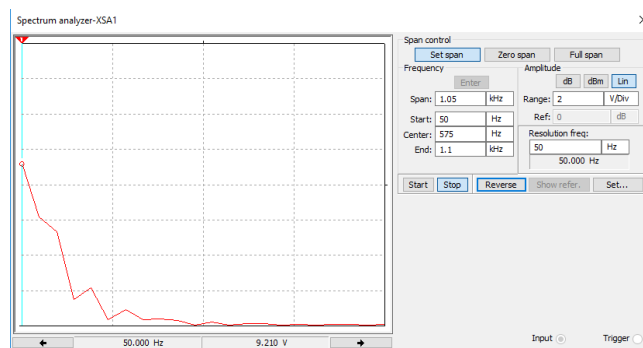


Рисунок 2.30 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием конденсатора 100мкФ, полученный в среде multisim

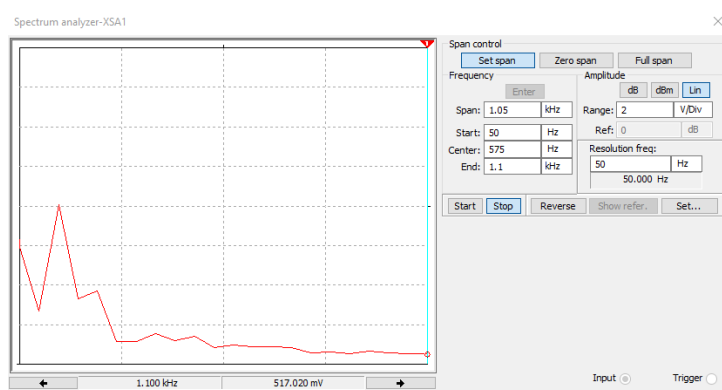


Рисунок 2.31 Спектральный состав выпрямленного напряжения трехполупериодного выпрямителя в аварийном режиме с использованием LC-фильтра, полученный в среде multisim

Таблица 2.8 - Значения напряжений в отдельных гармониках, в аварийном режиме шестиполупериодного выпрямителя, полученные при моделировании в среде multisim

№	Частота, Гц	Без конденсаторов	C=100мкФ	LC-фильтр
1	50	17,257 В	9,210 В	5,925 В
2	100	12,280 В	6,195 В	2,741 В
3	150	0,071 В	5,274 В	7,982 В
4	200	2,511 В	1,481 В	3,303 В
5	250	0,058 В	2,151 В	3,686 В
6	300	1,049 В	0,389 В	1,194 В
7	350	0,024 В	0,909 В	1,142 В
8	400	0,594 В	0,358 В	1,558 В
9	450	0,027 В	0,386 В	1,209 В
10	500	0,368 В	0,291 В	1,403 В
11	550	0,016 В	0,052 В	0,827 В
12	600	0,247 В	0,212 В	0,983 В
13	650	0,019 В	0,038 В	0,895 В
14	700	0,176 В	0,119 В	0,891 В
15	750	0,014 В	0,140 В	0,827 В
16	800	0,136 В	0,035 В	0,568 В
17	850	0,016 В	0,084 В	0,617 В
18	900	0,109 В	0,035 В	0,536 В
19	950	0,016 В	0,101 В	0,642 В
20	1000	0,085 В	0,103 В	0,579 В
21	1050	0,017 В	0,040 В	0,517 В
22	1100	0,071 В	0,105 В	0,517 В

Сопоставляя результаты исследований безаварийного и аварийного режимов, видим, что спектральный состав выпрямленного напряжения не меняется, однако появляется основная гармоника амплитуда которой по сравнению с нормальным режимом возросла в $4 \cdot 10^3$ раз.

2.4 Вывод по разделу 2

1. На основании анализа конструкции источников постоянного тока определено, что основными схемами выпрямления являются двух и трехфазные схемы преобразования переменного напряжения в постоянное.

Исходя из этого в лабораторном стенде необходимо предусмотреть вышеуказанные схемы выпрямителей

2. Анализ полученных результатов в данном разделе показывает, что пульсация и спектральный состав выпрямленного напряжения зависит от схемы выпрямления. Наименьшая пульсация и минимальные амплитуды высших гармоник наблюдается в шестиполупериодной схеме выпрямления, следовательно, при разработке стенда, необходимо отразить данную закономерность

3. Проанализировав полученные при моделировании осциллограммы можно сделать вывод что, при аварийном режиме в выпрямительных установках меняется схема выпрямления и возрастает пульсация и появляется основная гармоника, данная закономерность должна быть отражена при разработке стенда.

Раздел 3 Разработка, монтаж, наладка и апробация работы стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока.»

3.1 Теоретическое исследование и компьютерное моделирование стенда

Данные исследования показали, что наиболее широко используются двух- трех- и шестиполупериодные выпрямители. Для понижения пульсации необходимо использовать специальные устройства, к которым относятся:

- широкополосные фильтры, на базе конденсаторов
- LC-фильтры
- АКБ

Моделирование показало, что в случае термического разрушения диода в одном из плеч получается обрыв фазы и изменяется схема выпрямления. Это приводит к увеличению пульсации и появления в спектре выпрямленного напряжения основной гармоники ($f=50$ Гц). Исходя из вышеизложенного стенд должен демонстрировать работу двух- трех- и шестиполупериодных выпрямителей, позволять фиксировать полученные результаты с помощью осциллографа, наглядно показывать, как изменяется качество выпрямленного напряжения, при увеличении нагрузки и использовании широкополосных фильтров (конденсаторов), LC-фильтров и АКБ, а также в аварийном режиме.

Принципиальная электрическая и монтажная схемы соответственно приведены на рисунке 3.2 и рисунке 3.1. Внешний вид стенда показан на рисунке 3.3. Спецификация измерительных приборов, оборудования и комплектующих приведены в таблице 3.1.

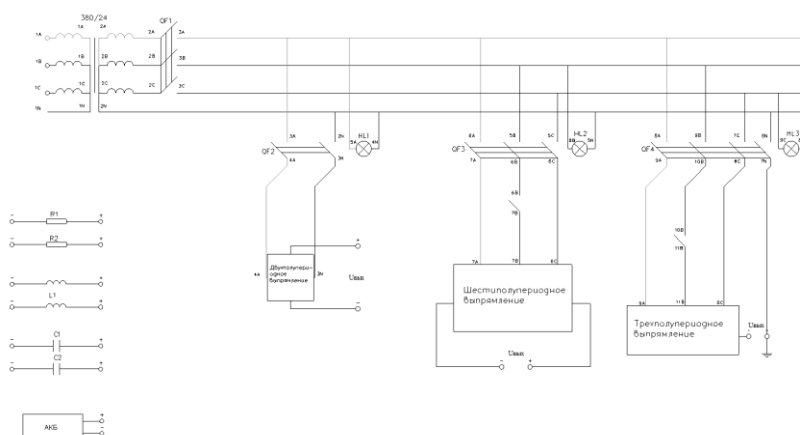


Рисунок 3.1 Монтажная схема стенда

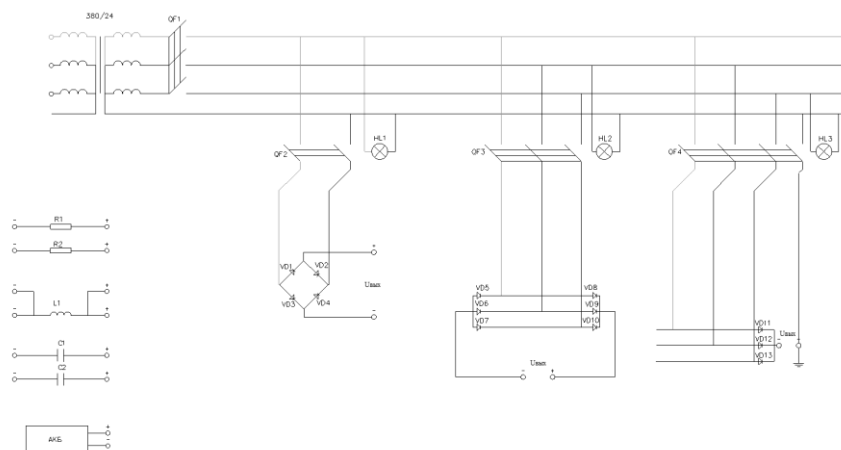


Рисунок 3.2. Принципиальная электрическая схема стенда

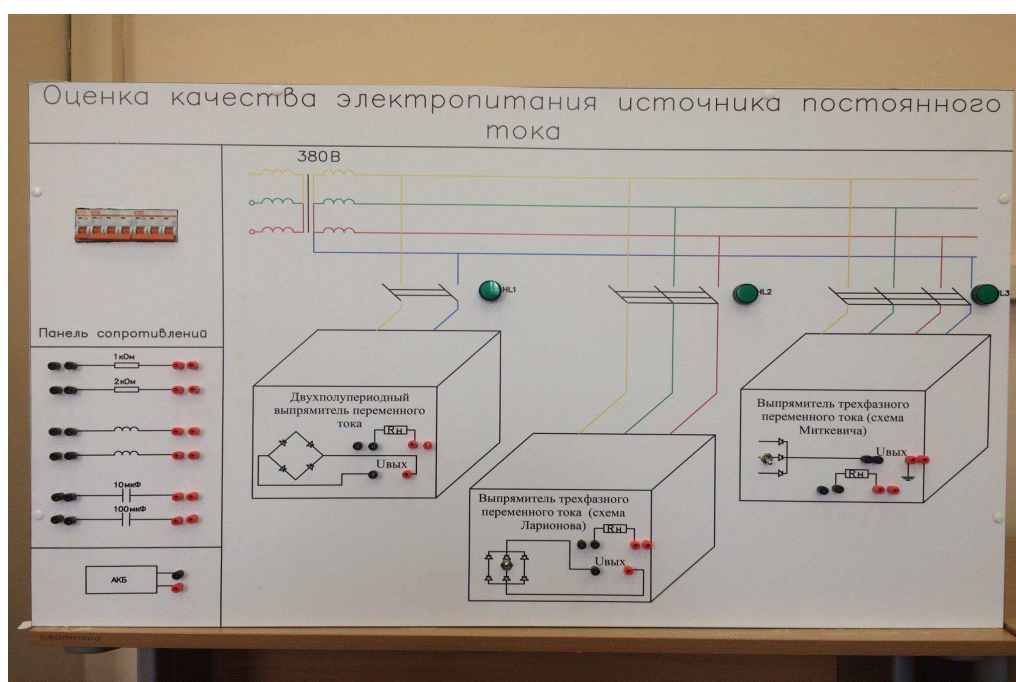


Рисунок 3.3 Внешний вид стенда

Таблица 3.1 – Спецификация электрооборудования

Обозначение	Наименование	Количество
	<i>Автоматический выключатель</i>	
QF1	BA47-29 1P 6A TDM	1
QF2, QF3, QF4	BA47-29 3P 6A TDM	3
	<i>Индикаторная лампа</i>	
HL1,HL2,HL3	220В	3
	<i>Резисторы</i>	
R1	Резистор 1 кОм 15Вт	1
R2	Резистор 2 кОм 15Вт	1
	<i>Конденсаторы</i>	
C1	Конденсатор NP 10 мкФ	4
C2	Конденсатор P 100мкФ	1
	<i>Катушки индуктивности</i>	
L1	Катушки индуктивности 0.5 Гн	
	Трансформатор 220/24	3
	Соединительные провода 1 · 0,75	20м
	Соединительные провода 1 · 1,5	10м
	Макетная плата	5

В качестве нагрузки используются резисторы величиной 1 и 2 кОм. Широкополосные фильтры на базе двух конденсаторов 10 и 100 мкФ. Имеется индуктивность 0.5 Гн, а также 3 АКБ свинцово-кислотного типа, номинальным напряжением 12 В, соединённые последовательно.

Указанные элементы с помощью гибких проводников могут подключаться к каждому из трех выпрямителей, тем самым демонстрируя работу выпрямителей под нагрузкой. Аварийный режим, реализованный как обрыв в диоде, выполняется с помощью тумблеров и используется в схеме Ларионова (шестиполупериодное выпрямление) и схеме Миткевича (трехполупериодное выпрямление).


3.2. Апробация работы стенда

Выполняется для всех трех схем выпрямителей. Последовательность аналогична для всех. В записке приводится пример апробации для схемы Миткевича.

Лабораторная работа

1. Подаем питание на стенд с помощью выключателя QF1. Загораются три зеленые лампочки, сигнализирующие о исправной работе трансформаторов.

2. Производим настройку осциллографа по следующему алгоритму:

Включаем осциллограф нажатием клавиши «» затем нажимаем клавишу F4, чтобы закрыть информационное окно на экране. Далее с помощью кнопки «Score» заходим в меню измеряемых параметров осциллографа, где нажимаем клавишу F2 (на экране как Reading 1). Затем, чтобы снять значение выпрямленного напряжения, выбираем с помощью джойстика пункт меню «Udc» и нажимаем кнопку F4 для закрытия меню. Далее нажимаем F3 (на экране как reading 2) и выбираем Upeak (амплитудное значение выпрямленного напряжения) и нажимаем клавишу F4 для закрытия меню. Дальнейшая настройка осциллографа не понадобится.

3. Подаем напряжение на трехфазный выпрямитель с помощью выключателя QF3

4. Для определения напряжения между выходами выпрямителя подключим щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с в гнезда стенда обозначенные «Uвых» на его лицевой части.

5. Чтобы зафиксировать полученную осциллограмму напряжения нажимаем клавишу «HOLD/RUN» (фиолетового цвета). Делаем фотографию осциллограммы. Она понадобится для оформления отчета. Снимаем показания Udc (действующее напряжение без нагрузки) заносим это значение в таблицу. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD/RUN» для разблокировки осциллографа.

Изучаем влияние нагрузки на изменение параметров выпрямленного напряжения

6. С помощью гибких проводников подключаем резистор сопротивлением 2кОм а после него 1кОм на выходы выпрямителя,

обозначенные на лицевой стороне, как Rн. Снова фиксируем осциллограмму с помощью кнопки «HOLD/RUN» и записываем полученные в верхней части экрана показания U_{dc} и U_{peak} в таблицу 4.3. Разблокируем работу осциллографа повторным нажатием кнопки HOLD/RUN.

Производим анализ полученных результатов

- Увеличение нагрузки в 2 раза практически не отразилось на коэффициенте пульсаций и отклонении напряжения
- подключение нагрузки к источнику постоянного тока увеличивает пульсацию напряжения
- отклонение напряжения не превышает допустимое 10%
- пульсация превышает допустимое значение напряжение в режиме ХХ в 5 раз, под нагрузкой в 6 раз, следовательно, необходимо продемонстрировать студентам способы снижения пульсации. Для снижения пульсации будем использовать 3 способа: использование широкополосных фильтров (конденсаторы), LC-фильтры, АКБ и сочетание LC фильтров и АКБ

Изучаем влияние широкополосного фильтра на качество выпрямленного напряжения

7. Для этой цели гибкими проводниками, поочередно подключаем конденсаторы 10 и 100 мкФ на выходы выпрямителя, обозначенные на лицевой стороне стенда как Rн. **ВАЖНО** соблюдать полярность при подключении, при неправильном подключении широкополосного фильтра в цепь он выйдет из строя. Фиксируем осциллограмму нажатием кнопки HOLD/RUN и записываем показания в таблицу 4.3 как U_{xx} (напряжение холостого хода). Затем в виде нагрузки параллельно конденсатору подключаем резистор 1кОм и фиксируем значения осциллографа нажатием кнопки HOLD/RUN. Значения записываем в таблицу 4.3.

Сравниваем результаты при использовании широкополосных фильтров

- Отклонение напряжения и пульсация напряжения зависят от величины конденсатора в широкополосном фильтре

Использование конденсатора величиной 10мкФ показало, что пульсация напряжения составляет 29%, а отклонение 28%, что не удовлетворяет требованиям ИПТ

Увеличение емкости до 100мкФ привело к тому что пульсация напряжения снизилась до 4.6 % а отклонение до 7.5%, что соответствует требованиям, предъявляемым к ИПТ.

Изучаем влияние LC-фильтра на качество выпрямленного напряжения

8. Для этой цели гибкими проводниками, параллельно резистору подключаем конденсатор 100 мкФ и последовательно с резистором катушку индуктивности на выходы выпрямителя, обозначенные на лицевой стороне стенда как Rн. Фиксируем осциллограмму нажатием кнопки HOLD/RUN. Снимаем показания осциллографа и заносим в таблицу 4.3, как напряжение холостого хода, затем в виде нагрузки подключаем резистор сопротивлением 1кОм. Фиксируем осциллограмму клавишей Hold/Run и записываем полученные значения в таблицу 4.3 как напряжение Uнаг.

Сравниваем полученные результаты с результатами широкополосного фильтра где C=100мкФ и делаем выводы:

- использование LC-фильтра позволило снизить отклонение напряжение до 6.1 % и незначительно возросла пульсация с 4.6% до 5.5% полученные результаты соответствуют требованиям ИПТ

Изучаем влияние АКБ на качество выпрямленного напряжения

9. Для этой цели гибкими проводниками подключаем АКБ в зажимы, обозначенные на лицевой стороне как Rн. **ВАЖНО** помнить, что нужно

соблюдать полярность при подключении. «+»АКБ подключаем к «+»выпрямителя и соответственно «-» АКБ к «-» выпрямителя. Фиксируем осциллограмму нажатием кнопки HOLD/RUN и снимаем показания осциллографа, а затем заносим в таблицу 4.3 как напряжение холостого хода, затем в виде нагрузки подключаем резистор сопротивлением 1кОм. Фиксируем осциллограмму клавишей Hold/Run и записываем полученные значения в таблицу 4.3, как напряжение $U_{наг}$. Затем дополнительно подключаем конденсатор и катушку индуктивности и записываем полученные значения.

После выполнения измерений студенту требуется произвести анализ полученных значений. Показать, как влияет применение широкополосных фильтров, LC-фильтров, АКБ на качество выпрямленного напряжения.

Для анализа полученных значений студенту требуется выполнить ряд вычислений, а именно посчитать отклонение напряжения по формуле:

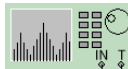
$$\Delta U_{откл} = \frac{U_{хх} - U_{нагр}}{U_{хх}} \cdot 100\%$$

И пульсацию напряжения по формуле:

$$\Delta U_{имп} = \frac{U_{пульс} - U_{хх}}{U_{хх}} \cdot 100\%$$

Далее студент делает вывод о влиянии тех или иных нагрузок на качество выпрямленного напряжения.

Работа на стенде покажет, что оптимальный вариант ИПТ является использование LC-фильтров в сочетании с АКБ. Данный стенд на основе снятых осциллограмм позволяет рассчитать спектральный состав выпрямленного напряжения для каждого из выпрямителей с помощью рядов Фурье или с помощью программы Multisim (при помощи спектрального анализатора).

В программе Multisim спектральный состав определяется с помощью прибора спектральный анализатор  (spectrum analyzer) по следующему алгоритму:

1. Вывод анализатора подключаем на нагрузку
2. Заходим в параметры анализатора двойным нажатием на него
3. Выбираем начало анализа на 50 Гц и анализируем до 22 гармоники т.е. окончание анализа выставляем на 1100 Гц и выбираем гармоники четные 50 Гц. После ввода параметров окно должно выглядеть как показано на рисунке 3.4

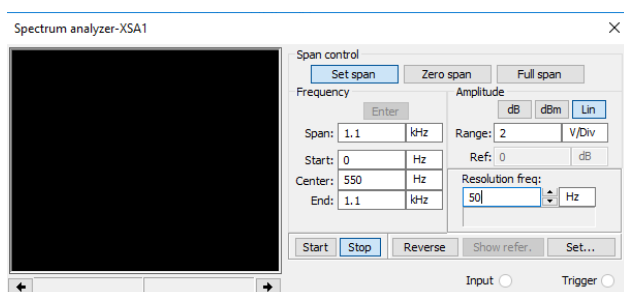


Рисунок 3.4 Параметры спектрального анализатора

4. Для удобства съема показаний можно менять цену делений (масштаб) в окошке Range. В примере это 2В в делении
5. С помощью ползунка мы выбираем частоту на которой хотим измерить напряжение и снимаем показание как показано на рисунке 3.5. Напряжение и частота указано в нижнем левом углу окна.

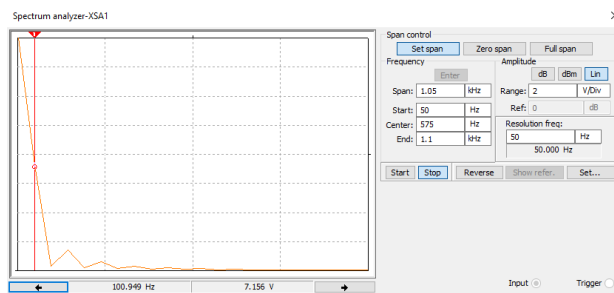


Рисунок 3.5 Снятие показаний с помощью спектрального анализатора в среде multisim

3.3 Выводы по разделу 3

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что разработанный стенд полностью демонстрирует работу выпрямителей под нагрузкой и в аварийном режиме. Демонстрируется использование широкополосных фильтров, LC-фильтров и АКБ для улучшения качества выпрямленного напряжения. На стенде имеется возможность снимать значения выпрямленного и максимального импульсного напряжения, а также по полученным осциллограммам позволяет произвести спектральный анализ выпрямленного напряжения, следовательно, требования к дипломной работе выполнены и цель работы достигнута.

Раздел 4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров»

Методическое обеспечение включает в себя два основных раздела:

- 1) методические указания к лабораторным работам;
- 2) возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.

Методические указания предназначены для студентов и отражают последовательность выполнения лабораторных работ в зависимости от вариантов, которые выдает преподаватель.

Исходные данные с полученными результатами для каждого варианта предназначены для преподавателя с целью проверки достоверности полученных результатов студентами.

4.1 Методические указания к лабораторным работам: «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров»



Сибирский Федеральный Университет
Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC- фильтров

**Методические указания к
лабораторной работе для студентов
электротехнических
специальностей**

Красноярск 2018г

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

**Оценка качества электропитания источника постоянного
тока с использованием LC-фильтров**

**Методические указания к лабораторным
работам для студентов электротехнических
специальностей**

Красноярск 2018

4.1.1 Введение

Задачи, стоящие перед высшей школой на современном этапе, требуют повышения качества подготовки специалистов, усиления их практического обучения. Большая роль в совершенствовании учебного практического обучения в вузах принадлежит увеличению доли лабораторно-практических занятий в общем объеме изучаемых дисциплин. Эта форма обучения больше, чем любая другая, позволит обеспечить единство теории и практики.

Целью методических указаний является помощь студентам в поиске необходимой информации при изучении курса «Электромагнитная остановка и электромагнитная совместимость на подстанции» и выполнении соответствующих лабораторных работ, что особенно важно в условиях имеющегося дефицита научно-технической литературы в данном направлении.

Содержание учебного пособия соответствует государственным образовательным стандартам и рабочим программам для студентов электротехнических специальностей вузов.

4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории

Безопасность проведения и выполнения лабораторных работ является важнейшим условием учебного процесса. Несоблюдение правил техники безопасности и неосторожное обращение с электрическими аппаратами, схемами стендов лабораторных работ могут привести к тяжелым несчастным случаям.

Для предупреждения несчастных случаев все студенты, проводящие лабораторные работы, практические занятия или ведущие научно-исследовательские эксперименты в лаборатории и мастерской, должны знать и строго выполнять все требования по технике безопасности для каждого вида и рода работ, после инструктажа по технике безопасности они должны расписываться в специальном журнале.

Включение схемы под напряжение производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания произойдет автоматическое срабатывание автоматического выключателя и стенд обесточится. При повреждении прибора в собранной схеме студент должен немедленно отключить пакетный выключатель на лицевой панели стенда и, **не делая попыток к исправлению, сообщить о повреждении преподавателю или лаборанту.**

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему надо обязательно отключить от сети.

Все изменения в соединениях (согласно программе проведения каждой лабораторной работы) должны производиться только при отключенном

рабочем щите. После каждого изменения соединений – до включения напряжения – схема должна быть вновь проверена преподавателем или лаборантом.

Во время выполнения работы запрещается:

производить переключения в рабочей схеме, находящейся под напряжением;

прикасаться к оголенным токоведущим частям установок;

оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и рубильники.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов **необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.**

4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов

Отчеты по выполненным работам оформляют с использованием персонального компьютера.

Схемы, таблицы и графики можно вычерчивать в карандаше, но обязательно с применением чертежных принадлежностей. Элементы схемы должны быть изображены по ГОСТу. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а значения функции – по вертикальной. Вдоль осей наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными. Числовые значения следует указывать против соответствующих делений.

После нанесения экспериментально полученных точек на график, следует провести плавную линию, проходящую по возможности ближе к этим точкам.

При большом количестве кривых на одном графике рекомендуется изображать их штриховыми, штрихпунктирными или цветными линиями.

Следует избегать графиков, в которых деления в начале координат начинаются не с нулевого значения. Такие графики не дают представления о характере рассматриваемых зависимостей.

В конце каждой выполненной и оформленной работы должна стоять подпись студента.

Защита лабораторных работ осуществляется согласно графику, утвержденному преподавателем.

Конкретные указания по содержанию отчетов приводятся в конце описания каждой лабораторной работы.

4.1.4 Общие положения

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнения условий ЭМС приводит к повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на подстанциях, следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в таблице 4.1.

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения.

Таблица 4.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5	-	2000 В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
Порт корпуса					
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 ст. жест.	100А/м (длительно), 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 ст. жест.	3А/м (длительно)	Для мониторов с электронно-лучевой трубкой
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3).	Не ниже 3 ст. жест.	10В/м	Для всех устройств.
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	Не ниже 4 ст. жест.	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям.
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества.	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96).	Не ниже 3 ст. жест	6кВ контактный, 8кВ воздушный	Для всех устройств.
Сигнальные порты					
6	Импульсные помехи, возникающие при	ГОСТ Р 51317.4.12-99	Локальное Полевое	-	Для всех устройств.

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	(МЭК 61000-4-12-96)	3 ст. жест. (для однократных) 2 ст. жест. (для повторяющихся) <u>С</u> оборудованием 4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	2кВ (провод -земля), 1кВ (провод -провод) 1кВ (провод -земля), 0,5кВ (провод – провод) 4кВ(провод -земля), 2кВ противофазное 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	<u>Локальное</u> Провод -земля 2 ст. жест. Провод -провод 1 ст. жест. <u>Полевое</u> Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод ст. жест. <u>С</u> оборудованием Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод ст. жест.	1кВ 0,5 кВ 2кВ 1 кВ 4кВ 2 кВ	Для всех устройств.
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	<u>Локальное</u> 3 ст. жест. <u>Полевое</u> 4 ст. жест. <u>С</u> оборудованием Спец. Ст. жест.	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств.
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех сигнальных портов.
Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (1с) 60% (0,1с)		Только для входных портов.

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	Прерывания напряжения		100% (0,5с)		
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 ст. жест.	Пульсации не выше 10%.	Для всех портов питания постоянного тока.
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц.	ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Не ниже 3 ст. жест.	10В (длительно) 100В (1с)	Для всех портов питания постоянного тока.
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод -земля 3 ст. жест. Провод -провод 2 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех портов питания постоянного тока.
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к помехам	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод -провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод)	Для всех портов питания постоянного тока.

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
Питание переменным током					
17	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (50 периодов) 60% (1 период)		Только для входных портов.
	Прерывания напряжения		100% (5 периодов)		
18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ.		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28-2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	Для всех портов питания переменного тока.
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания переменного тока.
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания переменного тока.

Окончание таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод -земля 4 ст. жест. Провод -провод 3 ст. жест.	4кВ 2 кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления.
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	10В=140дБ (мкВ)
Помехоэмиссия					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия.	ГОСТ Р 51318.22- 99 (СИСПР 22-97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97)	В соответствии с ГОСТ		

4.1.5 Термины и определения

Для целей настоящих методических указаний применяются следующие термины и их определения:

Внешние устройства молниезащиты – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Внешний контур заземления (здания) – замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

Внутреннее устройство заземления (здания) – совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

Выносной заземлитель – заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

Вторичное оборудование – аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник (РЕ – проводники) – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Излучаемая электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

Класс (степень) жесткости – соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

Кондуктивная электромагнитная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводнике.

Молниеприемник – часть молниесвода, предназначенная для перехвата молний.

Магистраль заземления – заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Разность потенциалов на заземляющем устройстве – разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при кратком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

Разряд статического электричества – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

Показатель качества электрической энергии – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

Противофазная помеха – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между фазным проводом и землей.

Пульсации напряжения постоянного тока – процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

Синфазная помеха – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между двумя фазными проводами.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю в месте замыкания.

Токоотвод – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость – способность ТС сохранять заданное качество функционирования значениями воздействия на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости – максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазоне.

Электромагнитная помеха – электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

Электромагнитное возмущение (воздействие) – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работы прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

Электромагнитное излучение от источника помех – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

4.1.6 Теоретические основы качества электропитания ИПТ

Общая характеристика источников постоянного тока.

Источник постоянного тока можно разделить на две группы. К первой группе относятся источники на базе выпрямителей с использованием специальных фильтров, снижающих пульсацию напряжения. Ко второй группе источников постоянного тока относят источники, выполненные на базе выпрямительного устройства с использованием аккумуляторных батарей. Первая группа широко используется в передвижных и стационарных электроустановках, имеет небольшие габариты. Вторая группа источников постоянного тока в основном используется на подстанциях напряжением 110 кВ и выше. Аккумуляторное помещение имеет габариты превышающие выпрямительное устройство в несколько раз. Поэтому применение источников постоянного тока второй группы реже используется в передвижных и малогабаритных стационарных установках. На рисунках 4.1-4.5 приведены основные схемы выпрямительных устройств, на основании которых изготавливаются ИПТ.

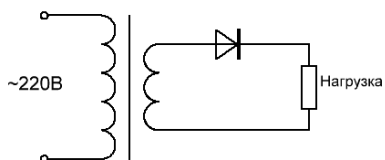


Рисунок 4.1 – однополупериодный выпрямитель

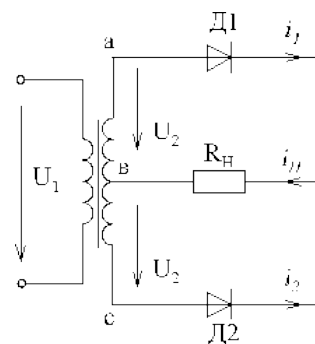


Рисунок 4.2 - Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой вторичной обмотки трансформатора

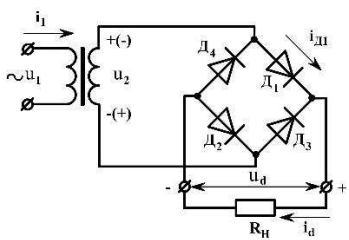


Рисунок 4.3 – мостовой выпрямитель

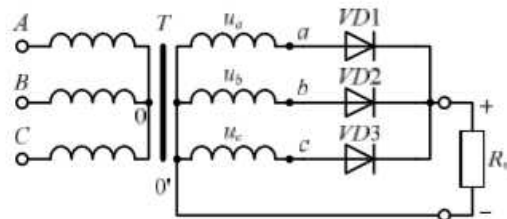


Рисунок 4.4 – трехфазный выпрямитель

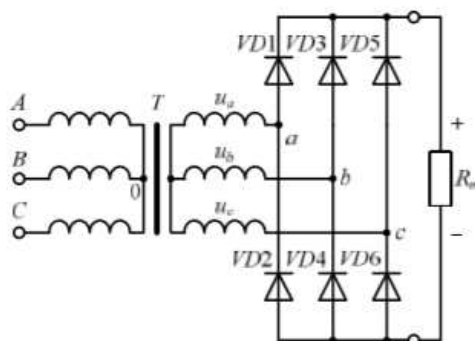


Рисунок 4.5 – мостовой трехфазный выпрямитель

Влияние аварийных режимов на качество электроэнергии

Аварийные режимы в источниках постоянного тока могут привести к сильному нарушению показателей качества электроэнергии и увеличению пульсации и к расширению спектра гармоник выпрямленного напряжения. Проанализируем влияние основных видов аварий на качество выпрямленного напряжения.

К основным видам аварий в выпрямителях относятся:

- КЗ внутри диода, приводящее, как правило, к выгоранию выпрямителя, если устройство не будет защищено устройством защиты от КЗ

- Обрыв внутри диода, вследствие термического разрушения диода. В этом случае ток по диоду не протекает, и выпрямительное устройство теряет фазу в процессе выпрямления.

Проанализируем влияние аварии на качество источника на примере последнего случая, т.к. данный случай не отключается релейной защитой.

Для этой цели сравним показатели качества (пульсацию) ИПТ и спектральный состав до аварийного режима и в аварийном режиме.

Пульсация и спектральный состав выпрямителя напряжения в безаварийном режиме.

Наибольшее применение нашли двух- и трехполупериодное выпрямление, а также схема Ларионова (мостовой трехфазный выпрямитель).

Двухполупериодное выпрямление

На рисунке 4.6 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием двухполупериодного выпрямителя

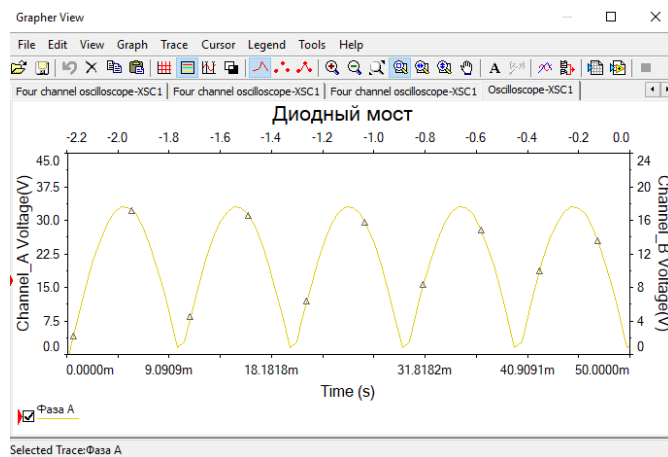


Рисунок 4.6 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании двухполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Для анализа пульсации и оценки спектрального состава примем $t=0$ и $A_m=34V$ что соответствует действующему значению напряжения цепи переменного тока при $U=24V$

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 21,65 + 14,44 - 2,89 + 1,23$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f_2^2 + f_4^2 + f_6^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{208,51 + 8,35 + 1,51}}{24} \cdot 100\% = \frac{14,777}{24} \cdot 100\% = 61,5\%$$

$$A_{пульс}(f_2) = \frac{14,44}{24} \cdot 100\% = 60,1\%$$

$$\text{Апульс}(f_4) = \frac{2.89}{24} \cdot 100\% = 12.04\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{1.51}{24} \cdot 100\% = 6.2\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{21,65 - 14,44}{21,65} \right) \right) \cdot 100\% = 66,7$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 61,5 % а пульсация равна 66,7% что превышает допустимый уровень равный 10%.

Аварийный режим в двухполупериодном выпрямителе

На рисунке 4.7 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в двухполупериодном выпрямителе в среде multisim

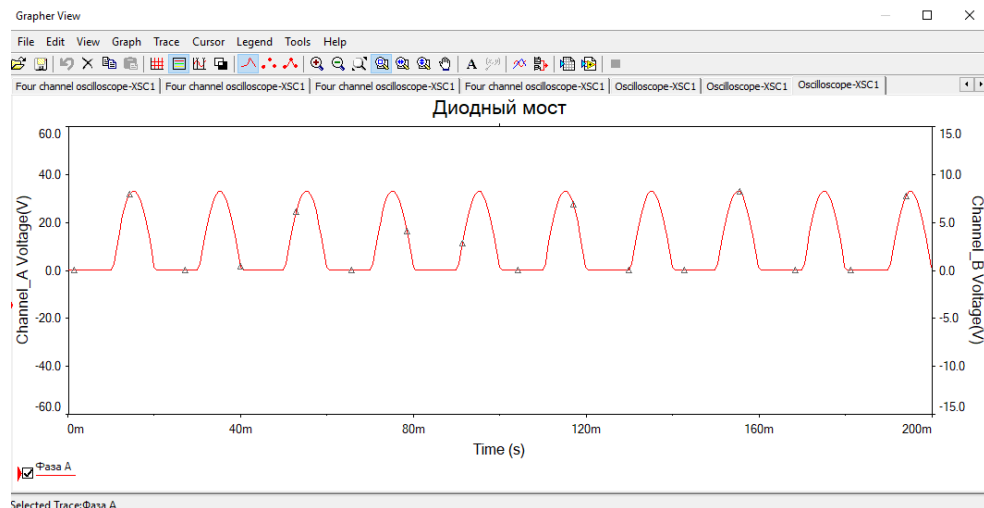


Рисунок 4.7 –Осциллограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в двухполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 4.7 при обрыве диода в двухполупериодном выпрямителе, он начинает работать как однополупериодный.

Разложим данную кривую в ряд Фурье:

$$f(wt) = \frac{2am}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos wt + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos w2t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4wt + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6wt - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 10.82 + 17 + 7.21 - 1.44 + 0,618$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f6^2 + f12^2 + f18^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{51.98 + 289 + 2.0736 + 0,381}}{24} \cdot 100\% = 77.2\%$$

$$\text{Апульс}(f1) = \frac{17}{24} \cdot 100\% = 70.83\%$$

$$\text{Апульс}(f2) = \frac{7.21}{24} \cdot 100\% = 30.04\%$$

$$\text{Апульс}(f4) = \frac{1.44}{24} \cdot 100\% = 6\%$$

$$\text{Апульс}(f6) = \frac{0.618}{24} \cdot 100\% = 2.5\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{10.82 - 17}{10.82} \right) \right) \cdot 100\% = 157\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае аварийного режима диодов двухполупериодного выпрямления составляет 77,2 % а пульсация равна 157% что не соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ

Трехполупериодное выпрямление

На рисунке 4.7 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием трехполупериодного выпрямителя. Для наглядности на графике показаны Фазы А, В, и С до выпрямления и выпрямленное напряжение на нагрузке.

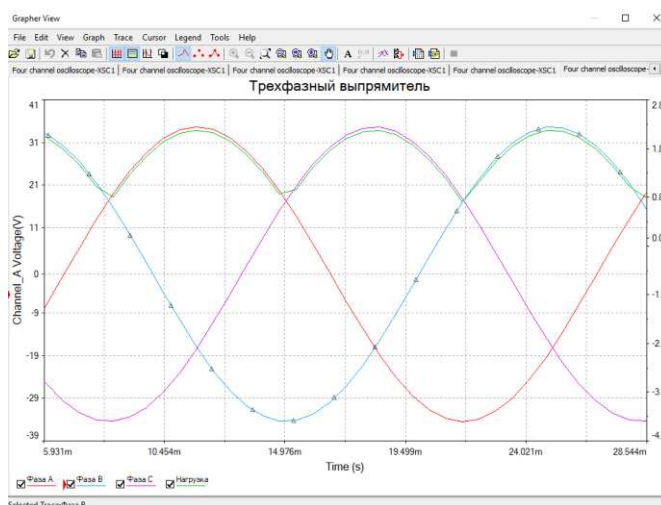


Рисунок 4.7 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании трехполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Ряд Фурье, полученный при разложении данной кривой будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 28,1 + 7,025 - 1,6 + 0,7025$$

$$Ku = \frac{\sqrt{f3^2 + f6^2 + f9^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{49,35 + 2,56 + 0,493}}{24} \cdot 100\% = \frac{7,24}{24} \cdot 100\% = 30,1\%$$

$$\text{Апульс}(f3) = \frac{7,025}{24} \cdot 100\% = 29,2\%$$

$$\text{Апульс}(f6) = \frac{1,6}{24} \cdot 100\% = 6,6\%$$

$$\text{Апульс}(f9) = \frac{0,7025}{24} \cdot 100\% = 2,9\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 30,1 % а пульсация равна 25% что превышает допустимый уровень равный 10%.

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{28,1 - 7,025}{28,1} \right) \right) \cdot 100\% = 25\%$$

Аварийный режим в трехполупериодном выпрямителе

На рисунке 4.8 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в трехполупериодном выпрямителе в среде multisim

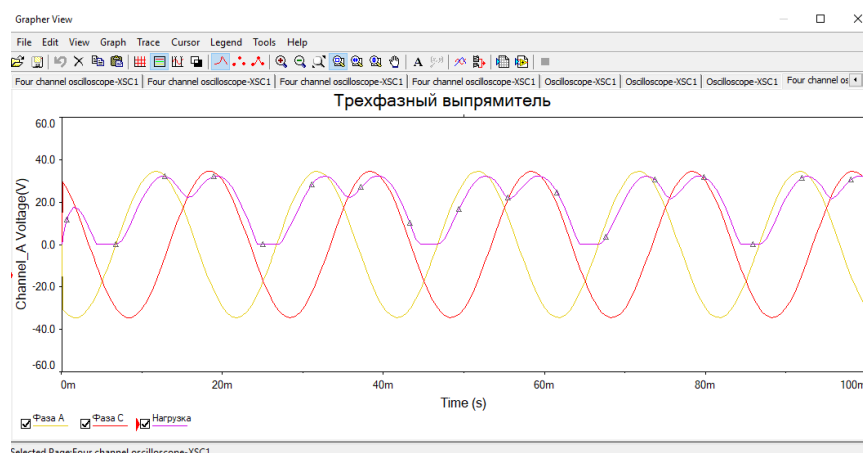


Рисунок 4.8 – Осциллограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в трехполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 4.8 при обрыве диода в трехполупериодном выпрямителе, он начинает работать как двухполупериодный.

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 21,65 + 14,44 - 2,89 + 1,23$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f_2^2 + f_4^2 + f_6^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{208,51 + 8,35 + 1,51}}{24} \cdot 100\% = \frac{14,777}{24} \cdot 100\% = 61,5\%$$

$$\text{Апульс}(f_2) = \frac{14,44}{24} \cdot 100\% = 60,1\%$$

$$\text{Апульс}(f_4) = \frac{2,89}{24} \cdot 100\% = 12,04\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{1,51}{24} \cdot 100\% = 6,2\%$$

$$K_{имп} = \left(1 - \left(\frac{U_{пост} - U_{перем.мах}}{U_{пост}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{21,65 - 14,4}{21,65} \right) \right) \cdot 100\% = 66,7\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 61,5 % а пульсация равна 66,7% что превышает допустимый уровень равный 10%.

Шестиполупериодная схема выпрямления (схема Ларионова)

На рисунке 4.9 приведена осциллограмма выпрямленного напряжения, полученная при моделировании в среде multisim с использованием шестиполупериодного выпрямителя

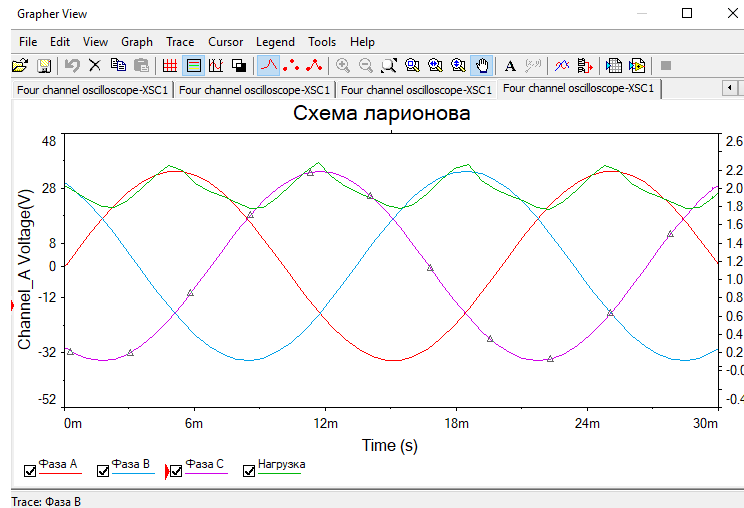


Рисунок 4.9 – Осциллограмма выпрямленного напряжения при использовании шестиполупериодного выпрямителя, полученная в среде Multisim

Ряд Фурье, полученный при разложении данной кривой будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3a_m}{\pi} \left(1 + \frac{2\cos 6\omega t}{5 \cdot 7} - \frac{2\cos 12\omega t}{11 \cdot 13} + \frac{2\cos 18\omega t}{17 \cdot 19} - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 32,48 + 1,856 - 0,4542 + 0,2011$$

$$K_u = \frac{\sqrt{f6^2 + f12^2 + f18^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3,444 + 0,206 + 0,04}}{24} \cdot 100\% = \frac{1,92}{24} \cdot 100\% = 8\%$$

$$\text{Апульс}(f6) = \frac{1,856}{24} \cdot 100\% = 7,73\%$$

$$\text{Апульс}(f12) = \frac{0,4542}{24} \cdot 100\% = 1,8\%$$

$$\text{Апульс}(f18) = \frac{0,2011}{24} \cdot 100\% = 0,8\%$$

$$K_{имп} = \left(1 - \left(\frac{U_{пост} - U_{перем.мах}}{U_{пост}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{32,48 - 1,856}{32,48} \right) \right) \cdot 100\% = 5,8\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае двухполупериодного выпрямления составляет 8 % а пульсация равна 5,8% что соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ.

Аварийный режим в шестиполупериодном выпрямителе

На рисунке 4.10 представлена кривая, полученная при моделировании обрыва диода в шестиполупериодном выпрямителе в среде multisim

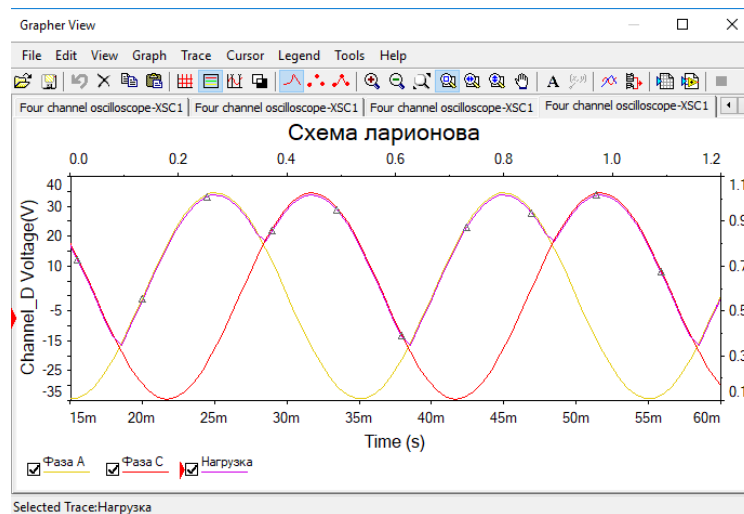


Рисунок 4.10 – Осциллограмма выпрямленного напряжения в аварийном режиме, в шестиполупериодном выпрямителе, полученная в среде multisim

Как видно из кривой, представленной на рисунке 4.10 при обрыве диода в шестиполупериодном выпрямителе, он начинает работать как двухполупериодный.

Согласно [1] кривую представленную на рисунке можно разложить в ряд Фурье, который будет иметь вид:

$$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right)$$

$$f(\omega t) = 28,1 + 7,025 - 1,6 + 0,7025$$

$$Ku = \frac{\sqrt{f_3^2 + f_6^2 + f_9^2}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{49,35 + 2,56 + 0,493}}{24} \cdot 100\% = \frac{7,24}{24} \cdot 100\% = 30,1\%$$

$$\text{Апульс}(f_3) = \frac{7,025}{24} \cdot 100\% = 29,2\%$$

$$\text{Апульс}(f_6) = \frac{1,6}{24} \cdot 100\% = 6,6\%$$

$$A_{\text{пульс}}(f_9) = \frac{0,7025}{24} \cdot 100\% = 2,9\%$$

$$K_{\text{имп}} = \left(1 - \left(\frac{U_{\text{пост}} - U_{\text{перем.мах}}}{U_{\text{пост}}} \right) \right) \cdot 100\% = \left(1 - \left(\frac{28,1 - 7,025}{28,1} \right) \right) \cdot 100\% = 25\%$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой в случае аварийного режима диодов двухполупериодного выпрямления составляет 30,1 % а пульсация равна 25% что не соответствует требованиям предъявляемым к ИПТ

Таким образом схема Ларионова представляет наибольшую практическую значимость для выпрямления трехфазного переменного тока, т.к. коэффициент искажения синусоидальности и пульсации минимальны и не превышает допустимых значений. Использование двухфазной схемы выпрямления требует специальных устройств для сглаживания пульсаций. В качестве данных устройств могут выступать широкополосные фильтры на базе конденсаторов либо LC-фильтры.

Сравнительный анализ полученных результатов

В таблице 4.2 приведены результаты коэффициентов искажения синусоидальности кривой и пульсации для различных схем выпрямления в нормальном и аварийном режимах

Таблица 4.2 Коэффициент искажения синусоидальности кривой и коэффициент пульсации для нормального и аварийного режимов работы выпрямителя

№	Схема выпрямления	Нормальный режим		Аварийный режим	
		Ku	Кимп	Ku	Кимп
1	Двухполупериодное	61.5	66.7	77.2	157
2	Трехполупериодное	30.1	25	61.5	76.5
3	Шестиполупериодное	8	5.8	30.1	25

Анализ данной таблицы показывает, что в аварийном режиме возрастает коэффициент пульсации и коэффициент искажения синусоидальности кривой. В аварийном режиме данные показатели превышают допустимые значения, следовательно, эксплуатация выпрямителей невозможна. По указанным значениям коэффициентов можно утверждать, что в одном плече выпрямителя перегорел диод.

4.1.7 Лабораторная работа №1.

Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров

Цель работы: Изучение влияния широкополосных фильтров и LC-фильтров на качество выпрямленного напряжения.

Перечень приборов: Осциллограф Fluke 196с

Порядок выполнения работы


При выполнении лабораторной работы измерения и расчетные значения записываются в таблицу 4.3

Таблица 4.3 – Результаты измерений и расчетов

№	Нагрузка	Параметры	Нормальный режим			Аварийный режим	
			2х	3х	6 ти	3х	6ти
1	Без нагрузки	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					
2	$R_H = 2 \text{ кОм}$	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					
3	$R_H = 1 \text{ кОм}$	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					
4	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 10 \text{ мкФ}$	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					
5	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 100 \text{ мкФ}$	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					
6	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 100 \text{ мкФ}$ $L = 0.5 \text{ Гн}$	U_{xx}					
		$U_{наг.}$					
		$U_{имп}$					
		$\Delta U, \%$					
		$\Delta U_{имп}, \%$					

1. Подаем питание на стенд с помощью выключателя QF1. Загораются три зеленые лампочки, сигнализирующие о исправной работе трансформаторов.

2. Производим настройку осциллографа по следующему алгоритму:

Включаем осциллограф нажатием клавиши «» затем нажимаем клавишу F4, чтобы закрыть информационное окно на экране. Далее с помощью кнопки «Score» заходим в меню измеряемых параметров осциллографа, где нажимаем клавишу F2 (на экране как Reading 1). Затем, чтобы снять значение выпрямленного напряжения, выбираем с помощью джойстика пункт меню «Udc» и нажимаем кнопку F4 для закрытия меню. Далее нажимаем F3 (на экране как reading 2) и выбираем Upeak (амплитудное значение выпрямленного напряжения) и нажимаем клавишу F4 для закрытия меню. Дальнейшая настройка осциллографа не понадобится.

3. Подаем напряжение на трехфазный выпрямитель с помощью выключателя QF2-QF4 в зависимости от схемы выпрямления выданной преподавателем

4. Для определения напряжения между выходами выпрямителя подключим щупы канала «А» осциллографа Fluke 196с в гнезда стенда обозначенные «Uвых» на его лицевой части.

5. Чтобы зафиксировать полученную осциллограмму напряжения нажимаем клавишу «HOLD/RUN» (фиолетового цвета). Делаем фотографию осциллограммы. Она понадобится для оформления отчета. Снимаем показания Udc (действующее напряжение без нагрузки) заносим это значение в таблицу 4.3. По окончании эксперимента на осциллографе нажимаем клавишу «HOLD/RUN» для разблокировки осциллографа.

6. Изучаем влияние нагрузки на изменение параметров выпрямленного напряжения

С помощью гибких проводников подключаем резистор сопротивлением 1кОм на выходы выпрямителя, обозначенные на лицевой стороне как Rн. Снова фиксируем осциллограмму с помощью кнопки «HOLD/RUN» и записываем полученные в верхней части экрана показания U_{dc} и U_{peak} в таблицу 4.3. Разблокируем работу осциллографа повторным нажатием кнопки HOLD/RUN.

7. Изучаем влияние широкополосного фильтра на качество выпрямленного напряжения

Для этой цели гибкими проводниками, поочередно подключаем конденсаторы 10 и 100 мкФ на выходы выпрямителя, обозначенные на лицевой стороне стенда как Rн. **ВАЖНО** соблюдать полярность при подключении, при неправильном подключении широкополосного фильтра в цепь он выйдет из строя. Фиксируем осциллограмму нажатием кнопки HOLD/RUN и записываем показания в таблицу 4.3 как U_{xx} (напряжение холостого хода). Затем в виде нагрузки параллельно конденсатору подключаем резистор 1кОм и фиксируем значения осциллографа нажатием кнопки HOLD/RUN. Значения записываем в таблицу 4.3.

8. Изучаем влияние LC-фильтра на качество выпрямленного напряжения

Для этой цели гибкими проводниками, параллельно резистору подключаем конденсатор 100 мкФ и последовательно с резистором катушку индуктивности на выходы выпрямителя, обозначенные на лицевой стороне стенда как Rн. Фиксируем осциллограмму нажатием кнопки HOLD/RUN. Снимаем показания осциллографа и заносим в таблицу 4.3 как напряжение холостого хода, затем в виде нагрузки подключаем резистор сопротивлением 1кОм. Фиксируем осциллограмму клавишей Hold/Run и записываем полученные значения в таблицу 4.3 как напряжение $U_{наг}$.

После выполнения измерений студенту требуется произвести анализ полученных значений. Показать, как влияет применение широкополосных и LC-фильтров на качество выпрямленного напряжения.

Для анализа полученных значений студенту требуется выполнить ряд вычислений, а именно посчитать отклонение напряжения по формуле:

$$\Delta U_{\text{откл}} = \frac{U_{\text{хх}} - U_{\text{нагр}}}{U_{\text{хх}}} \cdot 100\%$$

И пульсацию напряжения по формуле:

$$\Delta U_{\text{имп}} = \frac{U_{\text{пульс}} - U_{\text{хх}}}{U_{\text{хх}}} \cdot 100\%$$

Затем студент заполняет таблицу 4.3 и делает вывод о влиянии тех или иных нагрузок на качество выпрямленного напряжения.

Также студенту требуется собрать выбранную преподавателем схему выпрямления и смоделировать ее в среде multisim и повторить тот же алгоритм, заменяя осциллограф виртуальным, а также применить спектральный анализатор и сравнить полученные практические значения со значениями, полученными при моделировании.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое пульсация напряжения?
2. Какие существуют схемы выпрямления напряжения?
3. Для чего применяются широкополосные фильтры?
4. Какой тип сглаживающих устройств наиболее предпочтителен?
5. Какая схема выпрямления может работать без сглаживающих фильтров в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ИПТ?
6. Объясните принцип работы диода.
7. По каким характеристикам выбирают диоды?
8. Опишите принцип работы мостового выпрямителя
9. Опишите принцип работы трехфазного выпрямителя
10. Укажите области применения различных схем выпрямления
11. Для чего предназначен осциллограф?
12. Как влияет характер и величина нагрузок на осциллограмму выпрямленного напряжения?

4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами

Разработанный стенд позволяет выполнить лабораторную работу №1 «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров в тридцати основных вариантах. В каждом варианте изменяется характер и величина нагрузки, а также режим работы выпрямителя, вследствие этого изменяются расчеты коэффициента искажения синусоидальности кривой, величины пульсаций и отклонения напряжения. Результаты вариантов с полученными данными для лабораторной работы №1 приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Варианты расчетов с полученными данными для лабораторной работы №1

№	Нагрузка	Параметры	Нормальный режим			Аварийный режим	
			2х	3х	6 ти	3х	6ти
1	Без нагрузки	U_{xx}	23,2	30,9	62	23,9	41,6
		$U_{наг.}$	23,2	30,9	62	23,9	41,6
		$U_{имп}$	35	38	66	38	66
		$\Delta U, \%$	0	0	0	0	0
		$\Delta U_{имп}, \%$	51	23	6,4	58	58
2	$R_H = 2 \text{ кОм}$	U_{xx}	23,2	30,9	62	23,9	41,6
		$U_{наг.}$	22,2	30,5	61,2	20,8	40,7
		$U_{имп}$	25,1	37	65	37	65
		$\Delta U, \%$	3,3	1,2	1,2	13%	2,1
		$\Delta U_{имп}, \%$	61	20	5%	54,8	56
3	$R_H = 1 \text{ кОм}$	U_{xx}	23,2	30,9	62	23,9	41,6
		$U_{наг.}$	22,2	30,6	61	20,9	40,6
		$U_{имп}$	25,1	37	66	37	65
		$\Delta U, \%$	3,3	0,9	1,6	12	2,4
		$\Delta U_{имп}, \%$	61	20	6	54,8	56
4	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 10 \text{ мкФ}$	U_{xx}	36,5	37,4	65,3	37,2	65,2
		$U_{наг.}$	28,5	32,8	61,4	28,2	49,7
		$U_{имп}$	37	38	65	38	65,4
		$\Delta U, \%$	28	12	5,9	24	23%
		$\Delta U_{имп}, \%$	29	1,6	1	2,1	0,3
5	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 100 \text{ мкФ}$	U_{xx}	37	37,4	65	37,2	64,9
		$U_{наг.}$	34,4	36,1	63,7	35,2	61,7
		$U_{имп}$	36	37	65	38	65
		$\Delta U, \%$	7,5	3,4	0	5,3	5
		$\Delta U_{имп}, \%$	4,6	1	2	2,1	0,1
6	$R_H = 1 \text{ кОм}$ $C = 100 \text{ мкФ}$ $L = 0,5 \text{ Гн}$	U_{xx}	36,2	29,5	56,8	37,2	38
		$U_{наг.}$	34,1	29,4	56,3	35,2	37,8
		$U_{имп}$	36	36	61	37,3	62
		$\Delta U, \%$	6,1	0,3	0,8	5,3	0,5
		$\Delta U_{имп}, \%$	5,5	24	7,3	0,2	39

Раздел 5 Безопасность жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;

2. Произвести полный детальный анализ опасностей, формируемых в изучаемой деятельности;

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности невозможно.

5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №307.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Оценка качества электропитания источников постоянного тока»).

Таблица 4.1 – Вредные и опасные факторы

№ п/п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
1	Аудитория №307	Лабораторный стенд	Напряжение	380В	50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4

5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и

получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200х750мм. Всё оборудования размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С, при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Электробезопасность.

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

Правила безопасности перед выполнением работы.

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

Правила безопасности при выполнении работы.

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен

немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

Правила безопасности по окончанию работы.

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

5.3 Мероприятия по производственной санитарии

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85⁰С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штук по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м². Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт., количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока;
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

Раздел 6 Разработка сетевого графика

При написании дипломной работы требуется построение сетевой модели, позволяющей оценить вероятность её завершения в запланированные сроки. Учитывая большой объем работы при создании лаборатории и разработке вышеуказанного стенда «Оценка воздействия высокочастотной составляющей тока однофазного короткого замыкания на работоспособность микропроцессорных устройств подстанций напряжением 110, 220кВ, к выполнению дипломной работы приступили заблаговременно, с учетом того, что общий период не должен превышать 45 дней. Проведем расчет вероятностного сетевого графика.

Составление сетевой модели

Для расчета сетевой модели составляем перечень необходимых работ.

Таблица 6.1 – Перечень необходимых работ

Наименование работы	Код работы	Продолжительность работ
Получение задания на работу	1-2	1
Работа с литературой	2-3	7
Обзор темы	2-4	5
Расчет и оформление дипломной работы	2-8	14
Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на функционирование МПУ	3-7	12
Разработка лаборатории по курсу электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях	4-5	10
Разработка схемы стенда	5-6	13
Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда	6-8	10
Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы	7-8	9
Рецензирование дипломной работы	8-9	5
Защита дипломной работы	9-10	1

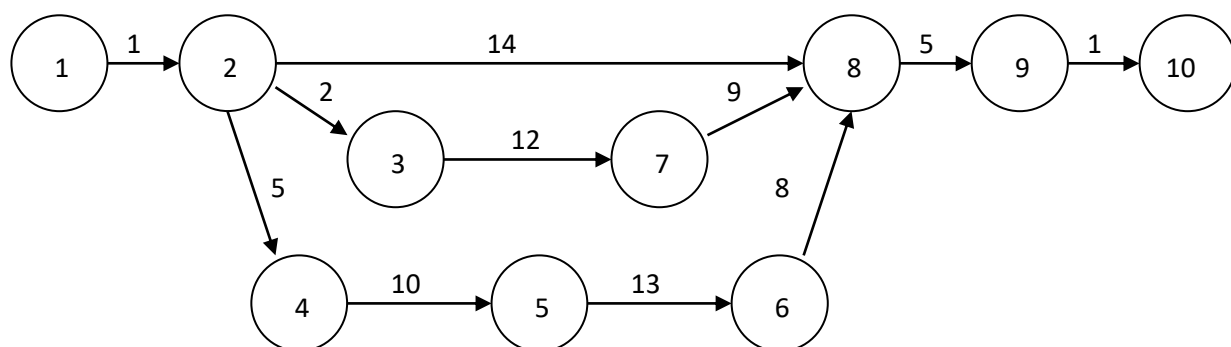


Рисунок 6.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Рассчитываем параметры сетевого графика и сводим в таблицу 6.2

Таблица 6.2 – Расчет сетевого графика

Номер начального события предшествующей работы	Код работы	Раннее начало работы	Раннее окончание работы	Позднее начало работы	Позднее окончание работы	Полный резерв времени	Свободный резерв времени
0	1-2	0	1	0	1	0	0
1	2-3	1	3	1	3	13	0
1	2-4	1	6	1	6	0	0
1	2-8	1	15	1	15	22	28
2	3-7	3	15	3	15	13	0
2	4-5	6	16	6	16	0	0
4	5-6	16	29	16	29	0	0
5	6-8	29	37	29	37	0	0
3	7-8	15	24	15	24	13	19
2;6;7	8-9	37	42	37	42	0	0
8	9-10	42	43	42	43	0	0

На сетевом графике 3 пути. Путь 3 является критическим. Его продолжительность – 43 дня и он не имеет резерва пути, но по отношению к сроку выполнения работы резерв составляет 2 дня.

$$L_1: 1-2-8-9-10 \quad t_{L1} = 20$$

$$L_2: 1-2-3-7-8-9-10 \quad t_{L2} = 30$$

$$L_3: 1-2-4-5-6-8-9-10 \quad t_{кр} = t_{L3} = 43$$

Работа 2-3:

Раннее начало работы:

$$t_{рн(23)} = \max t_{(ni)} = 1 \quad (6.1)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{po(23)} = t_{pn(23)} + t_{(23)} = 1 + 2 = 3 \quad (6.2)$$

Позднее окончание работы:

$$t_{по(23)} = \min t_{ni} = 3 \quad (6.3)$$

Позднее начало работы:

$$t_{пн(23)} = t_{по(23)} - t_{(23)} = 3 - 2 = 1 \quad (6.4)$$

Полный резерв времени:

$$R_{п(23)} = t_{кр(23)} - t_{p(2)} - t_{(23)} = 43 - 28 - 2 = 13 \quad (6.5)$$

Свободный резерв времени:

$$R_{с(23)} = t_{п(3)} - t_{p(2)} - t_{(23)} = 3 - 1 - 2 = 0 \quad (6.6)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы изложены в следующих выводах:

1. Разработанная лаборатория, включающая в себя шесть стендов, позволяет выполнить двенадцать лабораторных работ по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»
2. Каждый стенд позволяет выполнять лабораторную работу в количестве вариантов от трёх до шестидесяти в зависимости от назначения стенда. Варианты выполнения работ выдает преподаватель.
3. Теоретическое исследование и компьютерное моделирование позволило разработать принципиальную электрическую схему стенда, на которой наглядно демонстрируются работа двухполупериодного, трехполупериодного (схема Миткевича), шестиполупериодного (схема Ларионова) выпрямителей в нормальном и аварийном режиме, связанном с обрывом в цепи диода
4. Стенд позволяет продемонстрировать работу и выполнить соответствующие измерения пульсации и отклонения напряжения с учетом изменения нагрузки, использования широкополосных, LC-фильтров и АКБ
5. Электрическая схема стенда полностью соответствует виртуальной схеме, полученной при моделировании.
6. Апробация работы стенда показала, что лабораторные работы, заложенные в стенде, полностью отвечают теоретическим исследованиям и результатам моделирования.
7. Разработка методического обеспечения позволяет на стенде выполнять две лабораторные работы, Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров и Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием АКБ. Каждая из них может быть выполнена в 30 вариантах.
8. В методическом обеспечении имеется сводная таблица контрольных данных по выполнению каждого варианта работы, что позволяет преподавателю оперативно оценивать качество лабораторных работ.
9. Разработанный стенд и методическое обеспечение полностью соответствует цели дипломной работы.
10. В лаборатории предусмотрено все условия для безопасного выполнения лабораторных работ с позиции безопасности жизнедеятельности человека.
11. Разработанный сетевой график позволил рассчитать время и силы для полноценного и качественного выполнения дипломной работы.

Список сокращений

АКБ – аккумуляторная батарея

ЗУ – заземляющее устройство

ИПТ – источник постоянного тока

КЗ – короткое замыкание

МП – микропроцессорный

МППЧ – магнитные поля промышленной частоты

МПУ – микропроцессорные устройства

ОРУ – открытое распределительное устройство

ОПУ - опорный пункт управления

ПС – подстанция

РУ – распределительное устройство

РЗА – релейная защита автоматическая

СФУ – Сибирский Федеральный Университет

ТС – технические средства

ФСК ЕЭС – федеральная служба контроля единой энергетической службы

ЭМО – электромагнитная обстановка

ЭМС – электромагнитная совместимость

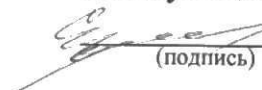
Библиографический список

1. Бессонов Л.А. «Теоретические основы электротехники.» Москва: Издательство "Высшая школа", 1978 год.
2. Готтлиб И.М. «Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы» Издательство: Москва Постмаркет 2002 год
3. Марк Е. Хернтер Электронное моделирование в Multisim
4. Мазель К. «Выпрямители и стабилизаторы напряжения» Издательство: Госэнергоиздат Год: 1951
5. СО 34 35 311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»
6. СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»
7. СТО 56947007-29.130.15-105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок»

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
(подпись) (инициалы, фамилия)

«14» января 2018г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка качества электропитания источника постоянного тока с использованием LC-фильтров»
(тема)

Пояснительная записка

Руководитель


(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков
(инициалы, фамилия)

Выпускник

Д.А. Болдырев
(подпись, дата)

Д.А. Болдырев
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2018г.